UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti,
Risorse Naturali e Ambiente

Corso di laurea magistrale in
SCIENZE E TECNOLOGIE ANIMALI

Impatto ambientale dell'allevamento di bovini da carne derivanti dalla filiera lattiero-casearia con approccio Life Cycle Assessment

Relatore

Prof. Enrico Sturaro

Correlatori

Dott. Gregorio Don

Dott. Marco Berton

Laureando

Davide Stefanello

Matricola n.

2113422

ANNO ACCADEMICO 2024/2025

Riassunto

L'obbiettivo di questa tesi è la valutazione ambientale della filiera beef x dairy italiana (animali nati da vacche da latte fecondate con seme di tori da carne), al fine di confrontarne i risultati con la filiera dell'allevamento del vitellone tipica della Pianura Padana, nell'ottica dell'introduzione di questi animali nei centri d'ingrasso veneti per sopperire alla crescente carenza di capi di provenienza francese. Per la valutazione ambientale è stata utilizzata la metodologia Life Cycle Assessment (LCA). I dati della fase di pre-ingrasso sono stati presi dalla letteratura, mentre quelli della fase d'ingrasso sono stati raccolti presso le 3 aziende oggetto di studio, situate in provincia di Trento. Le categorie d'impatto considerate sono state: potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP), potenziale di acidificazione (Acidification Potential, AP), potenziale di eutrofizzazione (Eutrophication Potential, EP), richiesta di energia complessiva (Cumulative Energy Demand, CED), occupazione del suolo (Land Occupation, LO). L'unità funzionale scelta è stata 1 kg di peso vivo guadagnato (Body Weight Gain, BWG). Per ogni categoria d'impatto sono stati analizzati i pesi specifici delle due fasi di pre-ingrasso ed ingrasso ed i contributi delle componenti "enterico" (fermentazioni ruminali), "refluo" (emissioni durante lo stoccaggio dei reflui), "dieta" (impatto associato alla produzione degli alimenti usati dagli animali), "materiali" (impatto associato a produzione e uso dei materiali di lettiera e fonti energetiche) e "trasporto". Il contributo della fase di pre-ingrasso in ogni categoria d'impatto si è collocato tra il 35 ed il 50%. La componente enterica è stata la più importante nella categoria GWP, la componente reflui nella categoria AP e la componente dieta nelle restanti tre categorie (EP, CED e LO). I valori emersi per le cinque categorie d'impatto sono stati tendenzialmente in linea con quelli dei tipi genetici solitamente allevati nei centri d'ingrasso della Pianura Padana, ad eccezione delle manze, rispetto alle quali sono stati trovati valori migliori. È stata riscontrata una notevole differenza tra l'azienda 1 e le aziende 2 e 3, a causa di un diverso approccio gestionale che ha influenzato sia le performance produttive che ambientali. In conclusione, l'allevamento di animali beef x dairy può essere una valida alternativa ai vitelloni di provenienza solitamente francese e una quota di autoproduzione maggiore degli alimenti e una gestione della dieta e degli effluenti più mirata possono contribuire a migliorare i risultati delle categorie d'impatto analizzate.

Abstract

The goal of this thesis is the environmental assessment of the italian beef x dairy supply chain (animals born from dairy cows mated with beef bulls semen) in order to compare the results with the typical Pianura Padana beef bulls supply chain, with the final aim of introducing this genetic type in the Veneto fattening centers to make up for the growing shortage of beef bulls coming from France. The Life Cycle Assement methodology was used for the environmental assessment computation. Data for the pre-fattening phase were taken from literature while data for the fattening phase were collected in three farms located in Trento province. The impact categories selected were: Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), Eutrophication Potential (EP), Cumulative Energy Demand (CED) and Land Occupation (LO). The functional unit chosen was 1 kg of body weight gain (BWG). Pre-fattening and fattening phase relevance were analized for every impact category, together with the share of the "enteric" (rumen fermentations), "effluent" (emissions from their storage), "diet" (impact associated to the production of feed for the animals), "materials" (impact associated to the production and use of bedding materials and energy source) and "transport" components. The contribution of the pre-fattening phase to the total emissions in each impact category was between 35 to 50%. The enteric component was the most important for the GWP category, the effluent one was the most important for the AP category and the diet component was the dominant one in the remaining three categories (EP, CED and LO). Values obtained for the five impact categories were in line with the ones found for the genetic types usually reared in the Pianura Padana fattening centers with the exeption of heifers, whose results were worse. A notable difference was found between farm 1 and farm 2 and 3, due to a different management approach that influenced both production and environmental performances. From this study we can extrapolate some general conclusions: the beef x dairy supply chain can be a valid alternative to beef bulls coming from France; increasing the self-production quota of feed and a better management of both diet and effluents can contribute to improve the results of the impact category analised.

Indice

Riassunto i
Abstract iii

1 Introduzione **1**
1.1 Le problematiche connesse all'allevamento 1
1.1.1 La carne rossa 2
1.1.2 Emissioni di gas serra 2
1.1.3 Emissioni di ammoniaca 3
1.1.4 Il benessere animale 3
1.2 Il settore del bovino da carne nel mondo ed in Europa 4
1.3 Il settore del bovino da carne in Italia 5
1.4 Il sistema di produzione integrato Francia-Italia 6
1.4.1 Il caso del Veneto 7
1.5 Le razze da carne allevate in Veneto 8
1.5.1 I vitelloni Charolaise 9
1.5.2 I vitelloni Limousine 9
1.5.3 Le razze rustiche francesi e i loro incroci 10
1.5.4 Gli incroci francesi ed irlandesi 10
1.5.5 I capi importati dall'Est Europa 11
1.5.6 Le manze 11
1.5.7 L'andamento del mercato 12
1.6 L'alternativa "beef x dairy" 12

2 Obbiettivi **17**

3 Materiali e metodi **19**
3.1 Il progetto INTAQT 19
3.2 La filiera da carne trentina 19
3.3 La metodologia Life Cycle Assessment (LCA) 20
3.4 Origine dei dati e definizione di scopi e obbiettivi 22
3.5 L'inventario dell'LCA 23

3.6 Calcolo delle emissioni 26
3.7 Contributi delle componenti alle categorie d'impatto 29

4 Risultati **31**
4.1 Performance di crescita ed ingestione alimentare 31
4.2 Categorie d'impatto 32
4.3 Impatto delle diverse fasi aziendali in ogni categoria 36

5 Discussione **42**
5.1 Performance di crescita ed ingestione alimentare 42
5.2 Categorie d'impatto 43
5.3 Impatto delle diverse fasi aziendali in ogni categoria 45
5.4 Confronto con il sistema di produzione integrato Francia - Italia 46

6 Conclusioni **51**

Bibliografia **54**

Introduzione

A livello mondiale la domanda e la produzione di prodotti animali stanno crescendo rapidamente [1] [2] a causa dell'incremento demografico e del cambiamento negli stili di vita e nelle diete delle persone [1]; la produzione globale di carne è infatti aumentata dell'1,7% nel 2024, raggiungendo le 379 milioni di tonnellate. Questo aumento è dovuto principalmente ad un grande incremento nella produzione di pollame, seguito da un incremento più contenuto della produzione di carne bovina, mentre la produzione di carne ovina ha registrato solo una piccola crescita e quella di carne suina è rimasta stabile [3]. Recentemente la FAO ha pubblicato un report in cui sottolinea un'impennata globale nel rischio di malnutrizione ed enfatizza il ruolo cardine degli alimenti di origine animale nel promuovere una buona nutrizione e salute [4]; la carne è infatti una componente essenziale di una dieta ben bilanciata. Essere soggetti a una dieta sana è associato a un maggior benessere nutrizionale, a stili di vita più sani e, a volte, a una miglior qualità della vita in generale. Il consumo di prodotti a base di carne è particolarmente importante per donne incinte, bambini in fase di crescita ed anziani [5] ma il settore che li produce deve oggi fronteggiare nuove sfide e giudizi che necessitano di una risposta.

1.1 Le problematiche connesse all'allevamento

Il settore zootecnico è da anni soggetto ad una particolare attenzione da parte della nostra società: dalla politica alle associazioni ambientaliste e animaliste fino ai singoli cittadini. Siccome, però, una fetta sempre minore della popolazione è coinvolta direttamente ed è a contatto con l'agricoltura, c'è un rischio sempre maggiore di potenziali incomprensioni riguardanti il mondo della carne e della zootecnia in generale [5]. Uno dei temi di dibattito più ricorrenti riguarda la carne stessa, ritenuta da una fetta di popolazione come fonte di svariate malattie e per la quale vengono richiesti standard salutari e qualitativi sempre maggiori.
Per quel che concerne l'allevamento, invece, due dei temi principali trattati riguardano il suo impatto ambientale e il benessere degli animali al suo interno. L'allevamento bovino è particolarmente attenzionato per quel che concerne l'emissione di gas serra, con il metano (CH_4) enterico generato dalla ruminazione e il protossido di azoto (N_2O) emesso dai reflui

come principali agenti dell'alto potenziale di riscaldamento globale imputato al settore. Anche l'ammoniaca (NH_3) proveniente dai reflui e dai fertilizzanti usati per le colture destinate al bestiame è oggetto di critiche e studi.
Il benessere animale è un tema sempre più caldo ed importante nel settore zootecnico. I consumatori tendono sempre di più ad associare la qualità e la salubrità dei prodotti ad una condizione di benessere dell'animale e richiedono garanzie sull'applicazione di protocolli e standard di benessere. Vari Paesi nel mondo si stanno muovendo in questa direzione, come nel caso dell'Italia che ha messo in atto il sistema ClassyFarm.

1.1.1 La carne rossa

Nonostante la carne sia una ricca fonte di proteine, contenga micronutrienti essenziali ed il suo profilo acidico abbia un effetto positivo sulla salute a lungo termine [5], un ampio dibattito si è sviluppato circa le implicazioni sulla salute causate dal suo consumo, con enfasi particolare sulla carne rossa, associata spesso ad un elevato rischio di malattie croniche. Svariate ricerche, infatti, sollevano dubbi sulla carne rossa e ad alto contenuto di grassi, indipendentemente dalla specie animale; queste preoccupazioni, tuttavia, possono ritenersi giustificate solo in caso di consumi di grandi quantità di carni rosse e di prodotti processati. Oltretutto, le conseguenze sulla salute associate al consumo di carne processata potrebbero avere origine non dalla carne stessa quanto piuttosto dagli additivi e dai metodi di processazione impiegati [5]. La percezione negativa della carne rossa che si è sviluppata nella società occidentale potrebbe essere contrastata tramite campagne pubblicitarie che invece presentino i benefici sulla salute collegati ad un suo consumo.
La richiesta di prodotti animali di alta qualità e sicuri dal punto di vista sanitario si intreccia con altre richieste dei consumatori come un maggior benessere animale e un minor impatto ambientale del settore; riuscire a soddisfare contemporaneamente tutti questi requisiti richiederà l'esplorazione di nuovi alimenti e tecniche di alimentazione, diverse scelte manageriali e gestionali al fine di mantenere la competitività e la credibilità nel mercato.

1.1.2 Emissioni di gas serra

Vari ricercatori si sono focalizzati sull'impatto ambientale della produzione di bestiame, considerata responsabile dello sfruttamento di diverse risorse naturali e driver delle emissioni di vari agenti inquinanti, tra cui i gas ad effetto serra (GHG) [6], tanto da collocarsi tra le attività più impattanti sull'ambiente a livello globale ed essere ritenuta responsabile di circa il 14,5% di tutte le emissioni antropogeniche [1]. L'aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera sta portando cambiamenti climatici, inclusi l'aumento della temperatura media ed una maggior frequenza di eventi climatici estremi, che stanno minacciando la biodiversità e la stessa sopravvivenza umana [2], con complesse ripercussioni

sugli ecosistemi naturali [6]. Tutto il sistema agroalimentare, in quanto grande contribuente alle emissioni globali di GHG, sta affrontando diverse sfide per mitigare il suo impatto ambientale. Le emissioni del settore agricolo provengono da varie fonti, tra cui la produzione e l'uso di fertilizzanti, la combustione di sottoprodotti agricoli, le fermentazioni enteriche e la gestione dei reflui animali [2], con questi ultimi che contribuiscono per circa il 10% alle emissioni totali di GHG di natura agricola [7]. Il settore zootecnico è responsabile di circa il 60% dell'uso del suolo agricolo e del 60% delle emissioni agricole di gas serra e nello specifico il settore bovino da carne produce il 35% delle emissioni dell'intera zootecnia, equivalenti a circa 300 kg CO_2-eq/kg di proteina prodotta [2].

1.1.3 Emissioni di ammoniaca

Oltre al rilascio in atmosfera di gas serra che contribuiscono al riscaldamento globale, all'agricoltura viene imputato un ruolo importante anche nell'emissione di ammoniaca che contribuisce alla formazione delle PM2.5 e, in parte, delle PM10 nell'aria. L'esposizione sia nel breve che nel lungo termine a questo particolato, anche a concentrazioni relativamente basse, ha effetti negativi sulla salute umana ed è per questo che si sta prestando grande attenzione allo sviluppo di strategie per ridurre le emissioni globali di NH_3. L'uso di fertilizzanti contenenti ammoniaca e la gestione degli effluenti nelle varie fasi della catena di produzione zootecnica sono le maggiori fonti di emissioni agricole di NH_3 e contribuiscono significativamente al deterioramento della qualità dell'aria. Oltretutto, la deposizione al suolo dell'NH_3 atmosferica può causare acidificazione del suolo e l'eutrofizzazione dei corpi idrici. Svariate soluzioni tecniche sono state raccomandate per abbattere le emissioni di ammoniaca del comparto agricolo, quali ad esempio l'uso di coperture fisse o mobili di diversi materiali durante lo stoccaggio degli effluenti e l'applicazione sottosuolo dei fertilizzanti organici o minerali in campo. A livello normativo l'Unione Europea nel 2016 ha emesso la direttiva NEC (UE 2016/2284) che stabilisce l'impegno alla riduzione delle emissioni di NH_3 per gli stati membri [8].

1.1.4 Il benessere animale

Il benessere animale è lo stato fisico e mentale di un animale in relazione alle condizioni in cui vive [9]. Un consenso sempre maggiore si sta sviluppando sul fatto che il benessere animale debba essere salvaguardato e aumentato e, recentemente, c'è stato un miglioramento nel riconoscimento dei criteri di benessere animale. Questo è dovuto anche e forse soprattutto al fatto che i consumatori spesso credono che gli alimenti provenienti da allevamenti che tengono in considerazione il benessere animale siano più genuini, sicuri, gustosi ed igienici. Anche dati scientifici supportano la relazione tra benessere, salute animale e, quindi, sicurezza alimentare, con una forte correlazione tra l'eccellente benessere dell'animale e la buona salute dello stesso [9]. I locali di stabulazione, il trasporto

e le tecniche gestionali hanno un impatto significativo sul benessere delle diverse specie, che è collegato a indicatori quali salute e comfort e all'espressione di comportamenti specie-specifici; pertanto, la determinazione del livello di benessere dell'animale richiede un approccio multidisciplinare mediante indicatori legati a produttività, etologia, funzioni endocrine, immunologia e patologia [9].
In Italia, la determinazione del benessere animale all'interno degli allevamenti è basata su un protocollo incluso nel sistema ClassyFarm [10]. Questo sistema è stato introdotto nel 2017 con il fine di valutare e categorizzare le aziende zootecniche in base a una valutazione dei rischi, su richiesta del ministero della salute, per adempiere al regolamento (UE) 2016/249 (Animal Health Law) che mira a prevenire e controllare le malattie animali che potrebbero essere trasmesse ad altri animali o all'uomo. La checklist per gran parte delle specie allevate e per diversi sistemi d'allevamento è stata disegnata con il contributo di esperti del settore per supportare i controlli ufficiali, reperire informazioni e incoraggiare l'applicazione di misure di benessere e biosicurezza di livello sempre più alto. L'applicazione di routine del protocollo è uno strumento promettente per il miglioramento del benessere animale e del profitto dell'azienda, in particolare se vi è la possibilità di ottenere una certificazione sul benessere; a questo fine servirebbero misurazioni accurate, affidabili e ripetibili dei criteri di benessere tali da consentire una quantificazione del livello di benessere stesso [9].
È importante, tuttavia, notare come l'attenzione verso il benessere animale tenda ad essere più pronunciata nei consumatori dei paesi sviluppati, mentre il suo riconoscimento nei paesi in via di sviluppo sia ancora in fase di evoluzione [5].

1.2 Il settore del bovino da carne nel mondo ed in Europa

Nel 2024 la produzione globale di carne bovina ha raggiunto le 78,7 milioni di tonnellate, segnando un aumento del 2,8% rispetto all'anno precedente. Questa crescita è stata guidata principalmente da Brasile, Australia, Cina, Unione Europea e India, che hanno aumentato i loro output, mentre Argentina e Nuova Zelanda hanno visto una riduzione della loro produzione; gli Stati Uniti hanno invece mantenuto gli stessi livelli del 2023. Il commercio a livello globale di carne bovina è invece cresciuto molto più bruscamente, facendo segnare un +9,8% rispetto al 2023 e attestandosi a 13,1 milioni di tonnellate con Stati Uniti, Cina e Iran che hanno registrano gli aumenti maggiori nelle importazioni mentre il Brasile si è confermato come leader dell'export globale, cresciuto del 26% rispetto all'anno precedente [3]. Diversi studi stimano che, a causa dell'aumento demografico globale, il consumo di proteina derivante dalla carne aumenterà del 14% entro il 2030 rispetto alla media del periodo di riferimento 2018-2020 [11], evidenziando come gli

allevamenti (anche quelli di bovini da carne) avranno un ruolo importante nel contribuire nel contribuire a soddisfare l'aumento della domanda di cibo nel mondo.
La FAO classifica i sistemi di allevamento, a livello globale, in "basati su prati" (grassland-based), senza terra (landless) e misti (mixed), a seconda che l'alimentazione sia basata prevalentemente su foraggi o concentrati [2]. Questa descrizione è particolarmente adatta per gli allevamenti di bovini da carne, che si differenziano tra loro nelle varie regioni del mondo proprio sulla base di queste caratteristiche. La produzione animale oggi occupa il 77% dei terreni agricoli e i pascoli costituiscono i 2/3 dei terreni arabili. Nelle nazioni con i tassi più alti di produzione ed esportazione di carne bovina quali USA, Australia, Nuova Zelanda, Francia, Regno Unito, Irlanda, Canada, Brasile e Argentina gran parte del prodotto proviene proprio dai pascoli; gli Stati Uniti dedicano il 40% della loro superficie alla produzione di carne bovina, il brasile ha 162 milioni di ettari di pascoli e l'Australia ha un sistema di produzione estensivo basato sulle praterie delle aree tropicali più a Nord [11].
In Europa la produzione di carne bovina viene realizzata prevalentemente in allevamenti specializzati dove il bestiame è alloggiato in box multipli con diversi tipi di pavimentazione ed è ingrassato intensivamente [12]. L'Unione Europea è il secondo consumatore e il terzo produttore di carne bovina a livello mondiale [13], fornendo annualmente 7,5 milioni di tonnellate in peso carcassa equivalente [14]. La Francia è la prima produttrice a livello europeo, seguita dalla Germania e dal Regno Unito; l'Irlanda è la più grande esportatrice e spedisce oltre il 90% del suo prodotto all'estero mentre Italia e Spagna importano il bestiame dalla Francia e sono rispettivamente il terzo e il quinto produttore dell'UE. All'interno dell'Unione i sistemi produttivi variano molto tra le varie nazioni, da quelli estensivi in Irlanda e Svezia a quelli altamente intensivi in Italia [14] mentre in Austria e Germania, invece, la produzione si basa sull'ingrasso di animali provenienti dalle mandrie locali di vacche da latte, comprati a pesi più bassi rispetto alla media e ingrassati in allevamenti a conduzione familiare di piccole dimensioni che si differenziano per la durata del ciclo di produzione, l'ambiente in cui si collocano e le scelte gestionali [15].
Tra i produttori specializzati di carne bovina il 48% è costituito dai cosiddetti "breeders", che allevano vacche nutrici e producono vitelli, il 40% da "breeders" e "fatteners", che ingrassano i vitelli nati nella propria azienda e, in alcuni casi, anche dei vitelli acquistati e il 12% da "fatteners" che comprano e ingrassano i vitelli da centri specializzati e/o da allevamenti di vacche da latte [14].

1.3 Il settore del bovino da carne in Italia

In Italia ogni anno vengono macellati 2,6 milioni di capi bovini, provenienti dall'abbattimento degli animali facenti parte della mandria da latte nazionale e dagli allevamenti che ingrassano vitelli o vitelloni da carne. La mandria nazionale di bovini da carne è

costituita da 2,45 milioni di capi (di cui il 30% provenienti da razze nazionali da carne) ma le vacche nutrici sono solo 700.000 [16]. Le aziende italiane di bovini da carne si possono dividere sostanzialmente in due tipologie, in base alla densità d'allevamento e alla posizione geografica: gli allevamenti intensivi nelle regioni del nord e quelli estensivi del centro e sud Italia; al settentrione, poi, vi è distinzione tra il nord-ovest, dove vengono allevate principalmente razze locali, e il nord-est, dove invece vengono solitamente importate razze provenienti da altri paesi europei, in particolare dalla Francia [17] [13]. Nonostante l'importanza non trascurabile degli allevamenti rurali del centro e sud Italia [17], circa il 70% della carne bovina italiana viene prodotta nelle aziende specializzate del nord-est del paese e di questa il 90% è costituito da animali importati dalla Francia [18]. Sebbene meno del 15% delle aziende specializzate nell'ingrasso di bovini in Europa risieda in Italia, queste producono circa 1/3 della carne commercializzata nel continente [13], a dimostrazione dell'efficienza del nostro settore.
Per quanto riguarda le razze da carne italiane, la Piemontese è la più importante con un totale di 285.000 capi, di cui 133.500 sono vacche nutrici (il 20% della mandria di vacche nutrici italiane), allevati in 4300 aziende agricolo-zootecniche, situate prevalentemente nel nord-ovest dell'Italia. Ogni anno vengono macellati circa 139.000 tori e manze di razza Piemontese, un numero che corrisponde quasi al 25% dei 560.000 tori e manze provenienti dalla mandria nazionale di vacche nutrici [16].

1.4 Il sistema di produzione integrato Francia-Italia

Nel nostro paese vengono importati più di 1 milione di vitelloni e manze ogni anno [19], che vengono ingrassati nelle aziende specializzate presenti nell'area geografica della Pianura Padana. La gran parte di questi capi importati proviene dalla Francia, con cui le aziende sopracitate hanno creato un ormai collaudato ed efficiente sistema produttivo [6]. Questo sistema è caratterizzato da una separazione geografica tra la fase vacca-vitello, che avviene nei pascoli dell'area semi-montuosa del Massiccio Centrale francese, e la fase d'ingrasso, che si svolge nelle aziende intensive specializzate del nord-est italiano [13]. In Francia i vitelli vengono allevati al pascolo in compagnia delle madri fino ad un'età media di 10-14 mesi [20] e un peso di 350-450 kg [13] e sono poi trasportati nei centri di raccolta e selezione [18] [21], dove vengono mescolati con animali provenienti da altre zone della Francia per creare le cosiddette partite [22] [21]. Ogni partita è composta da animali della stessa razza e sesso, con peso corporeo ed età simili ed ha una numerosità media che rappresenta approssimativamente la capacità di carico di un camion (circa 30-40 animali) [9] [21]. Le partite vengono poi comprate dagli allevatori italiani e trasportate nei centri d'ingrasso del nord-est [18]. In conformità con il regolamento UE sul trasporto del bestiame (European Council Regulation 1/2005/EC), le partite sono sottoposte ad un controllo sanitario prima di lasciare il paese d'origine e non è consentito il trasporto degli animali

ammalati [15].
All'arrivo in Italia gli animali vengono ospitati in stalle aperte o chiuse costituite da numerosi box di dimensioni uguali, con stabulazione su lettiera o su grigliato [23] [19]. Il ciclo d'ingrasso dura circa 6-7 mesi [13] [19], permettendo agli allevatori di svolgere quasi due cicli l'anno [23] [21], e gli animali vengono macellati ad un'età di circa 20-22 mesi ad un peso variabile tra i 550 e gli 800 kg a seconda del genere e della razza allevate [19]. Dopo il trasporto nei centri d'ingrasso, i bovini affrontano una fase di adattamento ai nuovi sistemi di stabulazione e di management; durante i primi 20-30 giorni dall'arrivo la dieta viene gradualmente cambiata, passando da una basata principalmente sui foraggi a una costituita per la maggior parte di concentrati, che alla fine di questo periodo di transizione rappresentano più del 60% della sostanza secca ingerita [24].
Per quel che riguarda il regime alimentare, i centri d'ingrasso si basano su razioni (total mixed rations, TMR) in cui il mais è l'ingrediente principale ed è somministrato in diverse forme: insilato, macinato e, anche se meno frequentemente, come pastone o come sottoprodotto di altre lavorazioni [23]. Solitamente l'insilato di mais rappresenta l'alimento umido di base per la preparazione della razione. La fonte di fibra lunga impiegata più frequentemente è la paglia mentre la farina di estrazione di soia è la fonte principale di proteina, seguita dalla soia estrusa o tostata, dalla farina di estrazione di girasole e da altri sottoprodotti; anche un supplemento di minerali e vitamine è quasi sempre presente nelle diete dei vitelloni. Le diverse proporzioni degli alimenti che verranno mescolati nel carro miscelatore sono decise in base al genotipo, al genere e alla fase d'ingrasso degli animali interessati [13], con il rapporto tra concentrati e foraggi che solitamente si attesta all'incirca su 60/40 (60% di concentrati e 40% di foraggi) [21].

1.4.1 Il caso del Veneto

Nel contesto dell'allevamento intensivo di bovini da carne della Pianura Padana, il Veneto ricopre un ruolo predominante. Ogni anno questa regione ingrassa circa il 70 e il 24% dei bovini da carne prodotti rispettivamente nei centri d'ingrasso specializzati italiani e europei. Il numero di capi allevati per ettaro è solitamente molto alto, tanto da eccedere le 5 unità bestiame per ettaro (Livestock Unit o LU/ha), soprattutto se paragonato alla media europea che si attesta sulle 1,8 LU/ha [13].
Il settore del bovino da carne in Veneto si è sviluppato negli ultimi 40 anni con lo scopo di incrementare il valore aggiunto dell'agricoltura locale. Questo obbiettivo è stato raggiunto sfruttando la grande disponibilità di mais della regione e connettendo le regioni europee con grande disponibilità di vitelli da carne (Francia, Irlanda, Germania, Polonia, Repubblica Ceca, Slovacchia, Ungheria, Croazia) con regioni la cui domanda di carne bovina eccedeva la produzione locale (soprattutto centro e Sud Italia). La crescita di questo sistema durante gli anni Sessanta e Settanta è stata supportata da quattro fattori: la

produzione dell'insilato di mais; lo sviluppo dei processi manageriali derivati dai "feedlot" nordamericani; il rapido aumento della domanda domestica di carne bovina generato dalla progressiva industrializzazione del paese; la creazione e l'espansione di un mercato comune successivo alla nascita dell'Unione Europea. All'inizio, il prezzo moderato dei vitelli importati ha supportato la crescita e lo sviluppo del settore specializzato per l'ingrasso, nonostante le perdite dovute a morti, ferite e malattie fossero molto maggiori di quelle dei giorni nostri a causa della mancanza di un'organizzazione veterinaria comune, dell'inappropriato o assente condizionamento dei vitelli pre e post trasporto dall'estero e del frequente mescolamento di animali provenienti da Paesi e sistemi di allevamento diversi [13].

1.5 Le razze da carne allevate in Veneto

Questo sottocapitolo fa riferimento ad uno studio di Gallo et al. [13] basato su una raccolta dati durata quasi dieci anni sulle performance di vitelloni e manze da carne allevate in Veneto, con lo scopo di evidenziare le peculiarità produttive delle mandrie specializzate da ingrasso del Nord Italia e di comparare le performance produttive ed economiche di bovini da carne appartenenti a diversi tipi genetici europei. Sebbene la stragrande maggioranza degli animali allevati provenga dalla Francia, come descritto sopra, non mancano razze provenienti da altri paesi europei come Irlanda o Polonia.
Circa la metà delle partite e degli animali esaminati nello studio erano di razza Charolaise e anche la Limousine, l'altra principale razza da carne francese, era molto diffusa. Linee pure della razza rustica Salers erano presenti molto raramente, mentre gli incroci generati tra quest'ultimi e gli Charolaise venivano importati più spesso, così come gli incroci ottenuti da un'altra razza rustica del Massiccio Centrale, l'Aubrac. In totale, le razze rustiche francesi e i loro incroci con Charolaise rappresentavano circa il 10% dei vitelloni ingrassati. Tutti i vitelloni delle categorie menzionate sopra provengono da allevamenti estensivi di vacche nutrici tenute al pascolo con i loro vitelli dalla primavera all'autunno. I maschi importati dalla Francia e originatisi dall'accoppiamento tra tori da carne e vacche da latte e a duplice attitudine, i cosiddetti incroci francesi, corrispondevano a meno del 4% dei bovini da carne analizzati nello studio. Gli incroci irlandesi, piuttosto variabili in termini di razze combinate, rappresentavano invece circa il 5% del totale. Le importazioni dai paesi dell'Est Europa si sono rivelate essere più occasionali (2,5%) e hanno riguardato soprattutto la razza Simmenthal (da Croazia, Ungheria, Slovacchia, Repubblica Ceca) e la vecchia Frisona polacca a duplice attitudine. L'ultima categoria apprezzabile in termini numerici era rappresentata dalle manze importate dalla Francia, principalmente di razza Charolaise, che costituivano quasi l'8% delle partite e il 5% degli animali importati.
Il peso medio degli animali all'arrivo si attestava sui 370 kg ma la variazione dovuta al tipo genetico era abbastanza ampia. Generalmente, i maschi di Charolaise all'arrivo erano più

pesanti rispetto a tutti gli altri gruppi genetici, con la sola eccezione degli incroci francesi se considerati nel loro complesso. Il peso alla macellazione si aggirava invece sui 650 kg ma anche in questo caso la differenza tra le varie razze era piuttosto ampia, con i broutard Charolaise in qualità di gruppo più pesante con una media di 703 kg e le femmine come gruppo più leggero che non arrivava a 530 kg. La lunghezza del ciclo d'ingrasso si avvicinava ai 220 giorni e solo nelle femmine di Charolaise si è riscontrata una durata media inferiore ai 7 mesi (198 giorni). L'incremento medio giornaliero si attestava invece sugli 1,3 kg/giorno, con un'ampia variazione dovuta al tipo genetico e con i vitelloni Charolaise che raggiungevano medie di 1,4 kg/giorno, performando significativamente meglio di tutti gli altri gruppi genetici. Il prezzo d'acquisto per capo, risultante dalla combinazione della variazione del prezzo d'acquisto al kg e il peso di arrivo, si attestava in un range tra i 572 euro/capo dei frisoni polacchi (i più economici per prezzo/kg e i più leggeri all'arrivo) e i 1045 euro/capo degli incroci Charolaise-Aubrac (i più pesanti all'arrivo). Per tutte le categorie il prezzo medio alla vendita era minore di quello all'acquisto quando espresso per unità di peso e, ovviamente, maggiore quando espresso per capo.

1.5.1 I vitelloni Charolaise

I vitelloni di razza Charolaise sono stati di gran lunga la categoria dominante di animali presenti negli allevamenti di bovini da carne veneti e questa regione rimane una destinazione di mercato fondamentale per gli allevatori della Francia centrale. Al di là della loro elevata disponibilità, in quanto razza bovina da carne più presente in Francia, i vitelloni Charolaise sono i preferiti dagli allevatori italiani anche per via della presenza di partite composte da animali uniformi per età, peso, conformazione della carcassa e sesso. I vitelloni Charolaise sono inoltre apprezzati per la loro efficienza di conversione alimentare, dato che sono in grado di utilizzare efficacemente la razione mista basata sull'insilato di mais grazie alla loro elevata capacità di ingestione. Il peso elevato fin dalla giovane età, combinato con degli zoccoli considerati sensibili a problemi di zoppie, ha portato la gran parte degli allevatori a decidere di far stabulare su paglia questi animali. La carne di Charolaise è la tipologia di carne bovina preferita dalla catena di venditori al dettaglio, che solitamente richiedono carcasse del peso di almeno 400 kg, conformazione U e stato d'ingrasso 2 secondo la scala SEUROP utilizzata dall'Unione Europea [13].

1.5.2 I vitelloni Limousine

I vitelloni di razza Limousine sono stati la seconda categoria per presenze all'interno degli allevamenti veneti. Rispetto alla Charolaise, questa razza ha dimostrato prezzi d'acquisto dei ristalli e prezzi di vendita per unità di peso maggiori (rispettivamente +15% e +10%), un tasso di accrescimento minore e un peso alla macellazione inferiore di quasi 100 kg,

tuttavia è comunque apprezzata per il cospicuo rivestimento di grasso, la muscolosità della carcassa e la resa e la qualità dei tagli [13].

1.5.3 Le razze rustiche francesi e i loro incroci

Le razze rustiche francesi a duplice attitudine quali, ad esempio, Salers, Aubrac, Gasconne, sebbene apprezzate per la loro resistenza a malattie e zoppie e per l'adattabilità a diverse condizioni di stabulazione, alimentazione e management, sono impiegate in purezza nelle aziende specializzate venete in quantitativi moto limitati negli ultimi tempi a causa dell'incremento giornaliero molto inferiore rispetto ai vitelloni di razza Charolaise. Proprio l'incrocio delle vacche di queste razze rustiche con tori Charolaise è più apprezzato dagli allevatori italiani rispetto alle linee pure, tanto da contare per il 9% delle partite ed il 7% degli animali analizzati in questo studio. Questi broutard sono caratterizzati da tratti produttivi intermedi tra la razza della madre e quella del padre ed intermedia è anche la loro reputazione da parte degli allevatori per l'adattabilità e la resistenza. Il prezzo medio per kg all'acquisto ed alla vendita era molto simile a quello degli Charolaise, così come lo erano le rese di macellazione (tanto che le loro carcasse vengono spesso commercializzate insieme) ed il guadagno netto alla vendita inferiore era dovuto principalmente al differente peso di macellazione, legato ad un tasso di crescita inferiore di quasi il 10% [13].

1.5.4 Gli incroci francesi ed irlandesi

Il termine incrocio francese si riferisce a vitelli ottenuti da madri di razze da latte o a duplice attitudine e da tori di razze da carne. Solo i vitelli di prima qualità vengono svezzati per essere destinati alla produzione di carne, mentre quelli di qualità inferiore sono assegnati alla catena del vitello a carne bianca. Le tipologie di incroci più presenti in Veneto sono quelle ottenute dal seme di tori Charolaise impiegato su vacche Frisone, Montbeliarde o altre razze derivate dalla Simmenthal; in alternativa, anche se poco frequentemente, vengono impiegati tori di razza Limousine per fecondare vacche Frisone o Pezzate Rosse. Gli incroci francesi si distinguono dagli incroci tra razze rustiche e Charolaise per svariati motivi: l'ambiente d'origine (stalle chiuse vs pascolo), il regime alimentare (sostituti del latte, concentrati e fieno vs latte materno, erba e creep feed) e il background sanitario; in questo studio, tuttavia, hanno riportato performance produttive simili tra di loro e la differenza a livello economico era dovuta solamente al maggior prezzo per kg all'acquisto e non alla vendita degli incroci francesi rispetto agli incroci Charolaise-razze rustiche (Gallo et al., 2014).
Gli incroci irlandesi hanno un background genetico più variabile di quello degli incroci francesi, dato che diverse razze da carne europee sono state importate in Irlanda per essere valutate in funzione dell'incrocio con la Frisona irlandese e con altre razze. I vitelli importati in Veneto provengono da padri Bianco Blu del Belgio, Charolaise, Limousi-

ne e Simmenthal e madri frisone, incroci da latte, a doppia attitudine e da carne. Le performance produttive degli incroci irlandesi sono risultate solo leggermente inferiori rispetto a quelle osservate nelle linee pure Charolaise mentre quelle economiche leggermente superiori grazie al loro prezzo d'acquisto per kg favorevole [13].

1.5.5 I capi importati dall'Est Europa

Il numero di bovini carne importati dai paesi dell'Est Europa è diminuito negli ultimi decenni, in primo luogo a causa della difficoltà da parte di questi di fornire una disponibilità regolare di grandi gruppi di animali simili per peso ed età e in secondo luogo perché la razza nativa Bianco Nera della Polonia, una razza a duplice attitudine con tratti peggiori da latte e migliori da carne rispetto alla Frisona, è stata progressivamente incrociata o sostituita con razze da latte specializzate. Per questi motivi le partite di vitelloni di queste razze sono state meno del 3% delle partite totali esaminate in questo studio. In accordo con studi antecedenti, quando comparate agli Charolaise o ad altre razze da carne specializzate, la Simmenthal e la Frisona polacca hanno evidenziato pesi al macello e tassi di crescita inferiori, comportando minori ritorni economici; tuttavia, potrebbero compensare parzialmente questo svantaggio grazie ad una buona adattabilità a diverse condizioni di stabulazione e alla possibilità di somministrare diete meno concentrate [13].

1.5.6 Le manze

L'ingrasso di manze da carne rappresenta una piccola ma importante branca del settore del bovino da carne veneto e riguarda principalmente Charolaise importate dalla Francia, ma anche Limousine o incroci. Rispetto ai maschi, vengono importate ad un peso inferiore e generalmente viene loro somministrata una dieta meno energetica per evitare un eccessivo accumulo di grasso, tanto che hanno mostrato un accrescimento medio giornaliero inferiore di quasi il 30% e un peso della carcassa minore di quasi 300 kg. Nonostante ciò, la durata del ciclo è inferiore di circa un mese rispetto a quella dei vitelloni e le perdite dovute a morti o ferite/lesioni sono risultate quasi dimezzate (1,2% vs 1,9-2,9%). Nel mercato del Nord Italia il prezzo per kg è maggiore per le carcasse delle manze rispetto a quello dei vitelloni della stessa razza e categoria SEUROP; il guadagno netto alla vendita per kg di peso vivo era infatti il più alto tra tutte le categorie analizzate. Dato che le manze arrivano ad un peso finale minore, il numero di manze per box può essere più alto rispetto a quello dei vitelloni e di conseguenza l'incremento di peso vivo e il guadagno netto alla vendita per box possono essere simili o addirittura superiori rispetto a quello dei maschi; in aggiunta, l'ingestione giornaliera inferiore permette di ottenere un consumo totale di alimento per box molto simile tra i due generi [13].

1.5.7 L'andamento del mercato

Il mercato dell'acquisto dei vitelloni/manze non ha subito una grande variazione negli ultimi 30 anni. È prevista però una diminuzione della disponibilità di vitelli da ingrasso e un ulteriore aumento del loro prezzo d'acquisto, a causa di svariati motivi: la progressiva tendenza da parte degli allevatori francesi di ritardare la vendita dei vitelli e di ingrassarli direttamente nel loro paese; l'abolizione delle quote latte potrebbe favorire la crescita della mandria nazionale da latte a scapito di quella di vacche nutrici in paesi come Francia ed Irlanda; la prospettiva di un aumento della domanda di carne bovina nei paesi emergenti che influenzerà le politiche di export dei produttori di broutard.
Una via possibile per aumentare la disponibilità e l'autoapprovvigionamento di vitelli da carne potrebbe risiedere nel pieno sfruttamento del seme sessato X nelle vacche da latte e a duplice attitudine, che permette di aumentare il numero di vacche eccedenti la quota di rimonta che potrebbero essere inseminate con seme di tori da carne. Le razze caratterizzate da ipertrofia muscolare sembrano particolarmente appropriate per questo fine perché la progenie ottenuta dall'incrocio è apprezzata per la produzione sia del vitello a carne bianca che del vitellone, ha un alto valore commerciale e potrebbe offrire performance produttive simili a quelle ottenute dalle linee pure di Charolaise.
In passato il peso medio all'arrivo dei ristalli era minore ma col tempo gli allevatori di vacche nutrici hanno migliorato la loro organizzazione produttiva con l'uso di "creep feed" fino allo svezzamento, trattenendo i ristalli più a lungo prima di venderli e preparandoli al trasporto con lo scopo di incrementarne il peso ed il prezzo di vendita. Anche il peso alla macellazione è cresciuto progressivamente nelle ultime decadi, probabilmente a causa di vari fattori: l'incremento del peso medio all'acquisto e quindi il bisogno di diluire il differenziale negativo tra prezzo per kg all'acquisto ed alla vendita con un incremento di peso maggiore nell'arco del ciclo; il miglioramento genetico della taglia alla maturità come risposta indiretta alla selezione per un migliore tasso di accrescimento; la tendenza ad una deposizione ritardata del grasso corporeo causata dall'aumento del potenziale di sviluppo muscolare [13].

1.6 L'alternativa "beef x dairy"

Come accennato sopra, l'aumento del prezzo dei ristalli e la loro minor disponibilità, soprattutto per quello che concerne la filiera francese, pone un crescente problema sull'approvvigionamento dei capi da parte degli allevatori italiani; un'alternativa interessante potrebbe essere quella legata ai vitelli uscenti dalle aziende di vacche da latte (Figura 1), che potrebbero sopperire a questa problematica.
"Dairy-beef" è un termine usato per descrivere la carne bovina che ha origine, direttamente o indirettamente, dalle mandrie di vacche da latte. Dairy-beef non è un concetto

nuovo, tanto che vi sono diverse pubblicazioni scientifiche risalenti agli anni '60 inerenti a questo argomento [25].
In molti Paesi una proporzione sempre più grande della produzione di carne bovina proviene dalle mandrie da latte e questa tendenza è destinata ad aumentare nei prossimi anni dato che il divario nella redditività tra l'industria del latte e quella della carne si allarga sempre di più in molti Stati; ciò significa che le decisioni più critiche riguardo al merito genetico di una porzione crescente delle carcasse processate vengono prese dai produttori di latte. Questi ultimi, però, hanno interessi che non coincidono con quelli del settore della carne. Nonostante la carne venga vista dagli allevatori di vacche da latte come un sottoprodotto, rimane comunque un'importante fonte di reddito e, visto che in media il valore dei vitelli nati da tori da carne è più alto di quelli nati da tori da latte, una maggiore considerazione di questo aspetto potrebbe avere risvolti economici positivi.
L'interesse nella produzione "beef x dairy" si è intensificato, specialmente di recente, per una combinazione di fattori, inclusi: il miglioramento delle performance riproduttive delle mandrie da latte a livello globale, che ha comportato un abbassamento della quota di rimonta; lo sfruttamento dell'effetto di eterosi derivante dall'accoppiamento toro da carne x vacca da latte; la riduzione dell'espansione delle mandrie da latte in molti paesi sviluppati, che ha ulteriormente contribuito alla riduzione del numero di manze da latte necessarie; un crescente uso del seme sessato che permette che ci siano più vacche da latte fecondabili dai tori da carne; la volontà di garantire resilienza ai sempre più volatili prezzi del latte generando entrate di denaro maggiori tramite la vendita dei vitelli in eccesso; l'accettazione degli incroci "beef x dairy" in un range più ampio di mercati rispetto agli animali "dairy x dairy"; una crescente disponibilità di tori da carne portanti caratteristiche quali facilità di parto e corto periodo di gestazione; una crescente preoccupazione da parte dei consumatori sulla macellazione dei vitelli (prevalentemente maschi da latte) poco dopo la loro nascita e la conseguente necessità di una strategia atta ad aumentare il valore di questi animali [25].
Da qualche anno si stanno sviluppando e validando schemi riproduttivi atti a identificare i tori da carne adatti alla fecondazione delle vacche da latte. Le vacche con caratteristiche genetiche inferiori per le performance lattiero-casearie hanno più probabilità di essere fecondate con seme di tori da carne, in quanto ritenute non all'altezza per generare la quota di rimonta della mandria da latte. Lo stesso discorso vale per le vacche più vecchie o che hanno partorito tardi durante l'anno, hanno avuto problemi di distocia o sono state inseminate in ritardo; viceversa, vacche ai primi parti, con un basso conto di cellule somatiche e con alti livelli di solidi nel latte vengono solitamente fecondate con seme di tori da latte.
Dal punto di vista degli allevatori dei centri d'ingrasso, il costo iniziale del vitello "beef x dairy" dovrebbe essere minore di quello del vitello "beef x beef" e in questo modo un capitale minore sarebbe vincolato fino alla macellazione; questo è dovuto anche al fatto

che il costo di mantenimento delle vacche nutrici ha un peso rilevante, che deve essere spalmato sul prezzo del vitello, facendone aumentare il costo. Come per molte commodities, il prezzo del vitello "beef x dairy", varia in funzione della domanda e dell'offerta e, in diversi paesi, questi vitelli sono prontamente disponibili. Altro elemento importante, la disponibilità di infrastrutture per il loro ingrasso non dovrebbe costituire un elemento limitante in caso i vitelli siano già svezzati, dato che potrebbero essere alloggiati nelle stesse strutture in cui vengono ospitati i vitelloni provenienti dalla linea vacca-vitello.
Uno dei punti deboli di questi incroci concerne le statistiche generalmente peggiori riguardanti le performance produttive rispetto alle razze da carne. È improbabile che le politiche di breeding dei produttori lattiero caseari cambino di molto, perché l'output ottenuto dalla carne nella maggior parte dei casi contribuisce poco alla redditività totale; produrre un vitello spesso viene visto solamente come un mezzo per iniziare una lattazione, più redditizia della vendita del vitello stesso. Molti allevatori cercano di vendere i vitelli in surplus il più presto possibile; le prime fasi dello svezzamento richiedono infatti strutture specializzate, un alto quantitativo di lavoro e sono soggette a più alti tassi di mortalità rispetto ad altre fasi. È importante infatti evidenziare che molti dei vitelli provenienti dalle mandrie da latte sono impiegati per la produzione di carne di vitello, che può essere classificata come carne bianca. Nel 2009 i vitelli da carne costituivano il 20% dei bovini macellati in UE e rappresentavano circa un terzo dei vitelli nati dalle mandrie da latte; il 40% dei vitelli maschi delle mandrie da latte UE veniva convertito in vitelli da carne e circa tre quarti dei vitelli da carne era di sesso maschile [25]. La crescente influenza del consumatore su come il cibo viene prodotto potrebbe però ostacolare particolarmente il settore della carne di vitello, ritenuta il prodotto di un settore crudele e disumano che processa animali giovani ed innocenti; nasce qui l'opportunità di valorizzare questi vitelli andando ad ingrassarli in centri specializzati (Figura 2).

Figura 1: Vitello beef x dairy proveniente da madre Frisona e padre Bianco Blu del Belgio.

Figura 2: Tipica stalla d'ingrasso del vitellone, situata in Pianura Padana, che può ospitare gli animali beef x dairy.

Obbiettivi

Lo scopo di questo studio è valutare la sostenibilità ambientale dell'allevamento di bovini da carne derivanti dalla filiera lattiero-casearia italiana tramite la procedura Life Cycle Assessment e compararlo con quello del collaudato sistema di ingrasso dei ristalli di provenienza francese valutato da Berton et al. [26] [27]. Il confronto tra le due realtà serve ad evidenziare i punti di forza e di debolezza dell'una e dell'altra, al fine di suggerire azioni future atte al progresso del settore del bovino da carne. Le diverse categorie d'impatto analizzate sono state selezionate con il fine di fornire lo spettro più ampio possibile circa l'influenza di questo segmento della zootecnia sull'ambiente. Questo lavoro vuole risultare utile, oltre che per future ricerche scientifiche, per descrivere la situazione attuale del settore del bovino da carne dell'Italia nord-orientale e soprattutto per informare in primis gli allevatori e gli altri protagonisti di codesto settore in merito alle possibili ricadute sulla sostenibilità economica oltre che ambientale derivanti dalla partecipazione alla filiera beef x dairy. Questo lavoro è servito a verificare la fattibilità dell'allevamento degli incroci beef x dairy in un contesto più intensivo e specializzato di quello tipicamente trentino (dove sono situate le tre aziende oggetto dello studio), al fine di valutare una possibile introduzione di questi animali nella filiera specializzata del vitellone del Nord-Est Italia, per sopperire alla crescente mancanza di capi esteri e, se possibile, creare una filiera di produzione interamente nazionale.

Materiali e metodi

3.1 Il progetto INTAQT

Questo lavoro di tesi è stato sviluppato all'interno del progetto europeo INTAQT (INnovative Tools for Assessment and Authentication of chicken meat, beef and dairy products' QualiTies). Il progetto ha come finalità quella di eseguire una valutazione multi-criterio sulla relazione tra i sistemi di allevamento e la qualità intrinseca ed estrinseca dei prodotti di origine animale, per fornire ai responsabili politici e ai diversi attori della filiere (agricoltori, trasformatori ma anche consumatori) un sostegno alle decisioni basato su dati scientifici e migliorare le pratiche di allevamento mirando all'ottenimento di prodotti di origine animale che rispettino requisiti sia di alta qualità che di sostenibilità, in coerenza con il concetto di "One Quality".
Il progetto INTAQT si concentra su tre diversi prodotti di origine animale: carne di pollo e di bovino e latte bovino. Come sistemi di allevamento, per ogni prodotto il progetto ha coinvolto aziende su un ampio spettro di intensificazione produttiva e di collocazione geografica.
In particolare, la valutazione inerente alla produzione di carne bovina ha coinvolto filiere presenti nei principali Paesi europei (Italia, Francia, Germania, Spagna, Gran Bretagna, Svizzera) e basate su diverse tipologie produttive, da quelle basate sulle vacche nutrici al pascolo in contesti a basso utilizzo di input produttivi a quelle basate sull'ingrasso di animali acquistati dall'esterno e ad alto utilizzo di input produttivi per raggiungere elevate performance produttive. Tra queste, la filiera della produzione di carne in Trentino è di particolare interesse, essendo una realtà strutturata per valorizzare i capi bovini provenienti dalla filiera del latte.

3.2 La filiera da carne trentina

La provincia di Trento copre un'area di 6200 km^2 ed è stata classificata come montuosa secondo il database statistico nazionale, tanto che la superficie arabile costituisce solamente il 2% del totale. In quest'area, e nella regione alpina in generale, l'attività agricola

prevalente è costituita da piccole aziende di vacche da latte tenute al pascolo per buona parte dell'anno e caratterizzate da una minor produttività rispetto alle aziende situate nelle zone di pianura. Questa minor produttività è spiegata dalla durata limitata della stagione vegetativa, dall'orografia e dalla pendenza del territorio, che non permettono la coltivazione di mais, che è la principale fonte di energia in diete ricche di concentrati. D'altro canto, però, le piccole mandrie alpine di vacche da latte sono caratterizzate da fertilità e longevità maggiori se comparate alle grandi aziende specializzate e possono quindi contare su quote di rimonta più basse; questo permette l'uso di tori da carne per la fecondazione di oltre il 30% delle vacche ogni anno. I vitelli ottenuti da questi incroci (siano essi maschi o femmine) possono essere venduti a prezzi maggiori rispetto ai vitelli di razze pure da latte, generando un surplus economico per le aziende che va a compensare le minori entrate dovute alla più scarsa produzione di latte. La razza di tori da carne usata più frequentemente per gli incroci beef x dairy è la Bianco-Blu Belga, caratterizzata da una doppia muscolatura che consente di ottenere vitelli con ottime forme, meno grasso e una resa della carcassa maggiore. Molte delle piccole mandrie della regione alpina seguono un sistema di produzione stagionale e la gran parte delle vacche partorisce nei mesi autunnali ed invernali, quando stabulano dentro alle stalle. Oggi, tuttavia, vi sono anche aziende specializzate di dimensioni maggiori che tengono le vacche in stalla durante tutto l'anno, in cui i parti si distribuiscono durante l'anno intero [28]. Nella sede di Trento, la Federazione Provinciale Allevatori aggrega oltre mille soci (circa il 90% degli allevatori trentini). Nata nel 1957, la Federazione Provinciale Allevatori svolge attività di supporto agli allevatori, sia dal punto di vista burocratico sia dal punto di vista tecnico-produttivo, supervisionando nella filiera carne la raccolta degli animali, la distribuzione del seme e l'ingrasso degli animali stessi, fino alla gestione del punto vendita nella macelleria aperta presso la sede. L'obbiettivo della Federazione è la valorizzazione degli allevamenti locali ed a questo fine da qualche anno esiste una filiera con capi nati, allevati e macellati nella regione trentina che ha preso il nome di "Scottona Trentino-Alto Adige". Ci sono circa 250 allevatori che ingrassano bovini nati e allevati in regione, creando un prodotto locale al 100%. Per rientrare in questa filiera i bovini devono essere nati e allevati in Trentino-Alto Adige, di razza Simmental, Limousine, Blu Belga con incroci con razze locali, come ad esempio la Grigio Alpina. Gli allevamenti contano mediamente una decina di capi, che vengono spesso portati in alpeggio nei mesi primaverili ed estivi.

3.3 La metodologia Life Cycle Assessment (LCA)

L'impatto ambientale dei prodotti alimentari viene quantificato sempre più spesso tramite l'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA). Questo metodo permette di valutare l'impatto ambientale associato a un determinato prodotto (materiale o servizio) considerando tutto il suo ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime fino alla

gestione della fase post-utilizzazione [29]. Negli ultimi anni, tale metodo è stato sempre più impiegato anche nel settore agro-alimentare, facendone oggi uno dei metodi standard quando si analizza la sostenibilità ambientale delle produzioni [30]. Lo stesso andamento si è osservato per il settore bovino, incluso quello da carne, in Europa [31] [32].
La valutazione LCA, nel suo utilizzo più generale ma anche nella sua applicazione al settore del bovino da carne, può essere svolta tramite approcci di tipo attribuzionale o di tipo consequenziale [33]. Il primo, quello più comune e utilizzato, ha come obiettivo quello di effettuare una "fotografia" del sistema così come è oggi strutturato, al fine di descrivere l'impatto associato a tale sistema e al prodotto che esso produce, oltre a puntare a determinare quali sono le fasi produttive che contribuiscono di più a tale impatto e quali sono i principali driver dello stesso, con l'obbiettivo finale di sviluppare innovazioni produttive per la riduzione dell'impatto stesso. Il secondo mira a quantificare le conseguenze ambientali di un cambiamento nel sistema produttivo o nella domanda del prodotto, includendo quindi una dimensione temporale che tenga conto anche delle complesse interazioni socioeconomiche che sono legate alla produzione e all'uso di un determinato prodotto.
Tramite l'impiego della metodologia LCA nel settore della produzione di carne bovina, l'uso delle risorse e le emissioni di tutte le fasi di produzione sono quantificati, assegnati alle categorie di impatto ambientale e messi in relazione all'output principale del sistema di produzione, quale ad esempio 1 kg di peso vivo, di peso al macello o di carne edibile. Gli impatti ambientali considerati generalmente in un LCA su alimenti di origine animale sono: l'uso di energia fossile, l'uso del suolo, il potenziale di riscaldamento globale, il potenziale di acidificazione ed il potenziale di eutrofizzazione [32]. Idealmente, un LCA valuta l'impatto ambientale di un prodotto lungo tutto il suo ciclo di vita, "dalla culla alla tomba". La maggioranza degli LCA sulla carne bovina, tuttavia, considera solo le fasi produttive comprese tra la nascita e l'uscita dell'animale dai cancelli dell'azienda, tralasciando fasi successive come il trasporto al macello e la macellazione, la lavorazione della carne, la vendita al dettaglio e le fasi domestiche antecedenti il consumo del prodotto.
La metodologia LCA è una procedura standardizzata e prevede quattro diverse fasi operative, ai sensi delle norme ISO 14040 e 14044 del 2006 [29] [34]: la definizione dell'obiettivo e dello scopo (Goal and Scope Definition), l'analisi dell'inventario (Life Cycle Inventory, LCI), la valutazione dell'impatto (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) e l'interpretazione di ognuna di esse.
Nella prima fase del metodo LCA, vengono definiti l'obiettivo dello studio e i parametri che configurano il modello che verrà applicato. I parametri concernono l'unità funzionale, i limiti del sistema, le categorie di impatto e l'eventuale risoluzione della multifunzionalità del processo di produzione o dei prodotti usati al suo interno.
L'analisi dell'inventario consiste nella raccolta dei dati delle unità di processo in esame (azienda zootecnica, stabilimento produttivo, ecc.), con l'obiettivo di definire gli input usati per produrre una determinata quantità di prodotto. Questo inventario permet-

te successivamente di computare le emissioni e l'uso di risorse delle diverse categorie di impatto selezionate nella fase di definizione dei parametri del modello LCA. I dati d'inventario possono essere direttamente presi dall'operatore presso l'azienda interessata oppure derivare da database pubblici e privati.
La valutazione dell'impatto si basa sulla collocazione dei diversi output all'interno delle relative categorie di impatto a cui possono contribuire (classificazione) e sul riportare i valori di tali output all'unità di misura comune della categoria di impatto, sulla base del fatto che i diversi output possono contribuire a una stessa categoria con pesi diversi (caratterizzazione). La conversione nell'unità di misura comune è eseguita tramite set di fattori di conversione disponibili in letteratura.
L'interpretazione consiste nel verificare se le conclusioni, tratte dall'analisi, sono supportate dai dati raccolti e dalla procedura adottata. Le verifiche riguardano quindi la rappresentatività del campione analizzato, la sensibilità e il significato reale delle varie fasi del processo produttivo.

3.4 Origine dei dati e definizione di scopi e obbiettivi

L'obbiettivo dello studio era indagare la sostenibilità ambientale del settore beef x dairy, in cui vitelli da carne provenienti dagli allevamenti di vacche da latte vengono ingrassati in modo intensivo in apposite stalle specializzate.
I confini del sistema sono stati stabiliti dalla nascita del vitello nell'azienda da latte fino alla sua uscita dal centro d'ingrasso. Data la struttura produttiva, composta da fasi diverse collocate anche molto distanti tra loro a livello geografico, la raccolta di dati primari è stata effettuata solo per la parte inerente la fase d'ingrasso, mentre per quanto riguarda il periodo antecedente (nascita-ingresso nel centro d'ingrasso), sono stati utilizzati dati secondari, derivati cioè da fonti in letteratura scientifica e tecnica, il più aderenti possibili alla realtà produttiva in esame. All'interno dei confini del sistema sono stati inclusi gli impatti legati alla gestione degli animali e dei reflui, la produzione degli alimenti utilizzati nelle razioni con cui sono stati alimentati gli animali (sia di produzione aziendale sia acquistati esternamente), la produzione ed uso dei materiali per la lettiera e la gestione dell'azienda (carburante, energia elettrica), oltreché i relativi trasporti. Le operazioni di macellazione e le fasi successive, invece, sono state escluse dal calcolo, secondo le indicazioni dell'ISO riguardanti la procedura di suddivisione [29].
Le categorie d'impatto prese in esame sono state le seguenti: potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP), potenziale di acidificazione (Acidification Potential, AP), potenziale di eutrofizzazione (Eutrophication Potential, EP), richiesta di energia complessiva (Cumulative Energy Demand, CED), occupazione del suolo (Land Occupation, LO). L'unità funzionale scelta è stata 1 kg di peso vivo guadagnato (Body Weight Gain, BWG).

3.5 L'inventario dell'LCA

Lo studio ha riguardato in totale 1333 capi, allevati in 3 aziende localizzate nella Provincia autonoma di Trento, durante l'anno 2022. Gli animali presi in considerazione erano tutti meticci (Frisona × Blu-Belga).
Nella fase dell'inventario sono stati conteggiati tutti gli input e gli output, le emissioni del sistema e l'uso di energia e di suolo correlati al sistema stesso. Per questo motivo, le tre aziende sono state visitate almeno una volta da un unico operatore al fine di raccogliere le informazioni generali per descriverne le strutture, l'organizzazione, la composizione della dieta e il sistema di gestione degli effluenti. L'operatore ha effettuato la raccolta dati basandosi su un questionario precompilato, indagando sia sulla parte zootecnica che agronomica delle aziende.
Per quel che concerne la parte zootecnica, in ogni azienda sono state raccolte informazioni sui posti stalla presenti, sul tipo genetico e il sesso degli animali, sul sistema di gestione degli effluenti. Il numero di capi entrati è il numero di capi che ha varcato i cancelli dell'azienda nel corso dell'anno, mentre il numero di capi usciti è stato calcolato come capi entrati – capi morti. L'età (in mesi) ed il peso medio d'entrata e d'uscita sono stati ottenuti dalla media delle età e dei pesi dei capi entrati e usciti durante l'anno. L'incremento medio giornaliero (Average Daily Gain, ADG) è stato calcolato facendo il rapporto tra la differenza tra peso finale e peso iniziale e la differenza tra età finale ed età iniziale.
Dal lato agronomico, sono stati raccolti dati circa la superficie agricola utilizzata (SAU) e le colture in atto, finalizzate quasi in toto a produrre gli alimenti da utilizzare nella composizione delle razioni da somministrare agli animali. Per ciascuna tipologia di coltura sono stati raccolti i dati dell'azienda relativamente a ettari coltivati, consumo di fertilizzanti chimici e pesticidi e resa annuale dei raccolti. I dati sopracitati impiegati nella compilazione dell'LCA sono raccolti nella Tabella 1.
Per ogni azienda visitata è stata raccolta la razione alimentare somministrata agli animali durante il ciclo di ingrasso (Tabella 2). La composizione chimica delle razioni è stata calcolata come media della composizione chimica dei singoli alimenti, ponderati per la loro presenza relativa nella razione. I valori chimici relativi ai foraggi, ai cereali e ai loro sottoprodotti sono stati ricavati dalla letteratura [35] [36] [37]. Per i mangimi complementari si è fatto riferimento alle indicazioni riportate nei cartellini commerciali. L'ingestione di sostanza secca giornaliera (Dry Matter Intake, DMI) è stata ottenuta moltiplicando l'ingestione tal quale di ogni alimento per il suo contenuto di sostanza secca (s.s.). Gli altri parametri presi in considerazione sono stati il contenuto di proteina grezza (Crude Protein, CP), l'energia lorda (Gross Energy, GE) e l'energia digeribile (Digestible Energy, DE) della razione.
Per il calcolo del bilancio dell'azoto (N) sono state utilizzate le seguenti formule e coeffi-

cienti, sulla base del metodo proposto da Ketelaars e Van der Meer [38]:

$$N_{\text{ingerito}}\,(\text{kg/capo/anno}) = \text{DMI}\,(\text{kg/capo/g}) \times 365\,(\text{g/anno}) \times \frac{\frac{\%\text{proteina}}{100}}{6.25}$$

Dove:

- DMI = Dry Matter Intake (Ingestione di Sostanza Secca)
- 6,25 = fattore di conversione da proteina ad azoto

$$N_{\text{ritenuto}}\,(\text{kg/capo/anno}) = \text{ADG}\,(\text{kg/capo/g}) \times 365\,(\text{g/anno}) \times 0{,}025$$

Dove:

- ADG = Average Daily Gain
- 0,025 = fattore di ritenzione (N/kg Body Weight Gain, BWG)

$$N_{\text{escreto}}\,\big(\text{kg/capo/anno}\big) = N_{\text{ingerito}} - N_{\text{ritenuto}}$$

Per quel che concerne la gestione aziendale, sono state raccolte le informazioni relative all'uso e consumo di materiali e fonti di energia. Ai fini del calcolo dell'LCA sono stati tenuti in considerazione il quantitativo di paglia impiegata per la lettiera (kg/anno), il gasolio (kg/anno) e l'energia elettrica consumati (kWh/anno). Circa il management dei reflui aziendali, tramite la compilazione del questionario sono stati registrati i dati relativi alla stabulazione e alla gestione delle deiezioni. Per l'LCA si è deciso di tenere in considerazione solo la divisione in termini percentuali della proporzione di reflui palabili (letame) e non palabili (liquame).

Tabella 1: Caratteristiche strutturali e produttive delle tre aziende considerate nello studio.

Caratteristiche		Azienda 1	Azienda 2	Azienda 3
SAU (ha)	Mais	0	10	10,7
	Erbaio	0	0	5,3
Tipo genetico	–	Frisona × Blu Belga	Frisona × Blu Belga	Frisona × Blu Belga
Maschi (%)	–	100	60	50
Numero capi	Entrati	1050	121	162
	Morti	19	6	7
	Usciti	1031	115	155
Età capi (mesi)	Entrata	6	5,5	5,5
	Uscita	13,5	17,7	17,7
Peso vivo capi (kg)	Entrata	280	241	235
	Uscita	530	568	575
ADG (kg/g)	–	1,096	0,883	0,918
Gestione reflui (%)	Liquame	90	70	75
	Letame	10	30	25

[1] SAU = superficie agricola utilizzata

Tabella 2: Ingestione alimentare media e composizione della razione (singoli alimenti e composizione chimica) utilizzata nella fase di ingrasso nelle tre aziende considerate.

Variabile	Azienda 1	Azienda 2	Azienda 3
Ingestione (kg s.s./capo/giorno)	9,28	7,81	7,53
Ingestione (% BW[1])	2,29	1,93	1,86
Razione (kg s.s./capo/giorno)			
Silomais	–	3,68	3,52
Fieno medica	1,07	–	–
Fieno	–	–	1,34
Paglia	0,92	1,06	–
Farina di mais	1,29	–	–
Farina di frumento	2,11	–	–
Marcomele	2,20	–	–
Nucleo 1[2]	1,69	3,07	2,67
Composizione chimica			
Proteina grezza, (% s.s.)	11,0	9,33	9,07
Energia lorda (MJ/kg s.s.)	18,4	18,2	18,2
Energia digeribile (MJ/kg s.s.)	12,7	12,4	12,7

[1] BW = Body Weight
[2] Nucleo 1 = 35% mais, 15% germe mais, 12% crusca, 12% farina estrazione di soia e girasole, 10% soia buccette, 10% polpe bietola, 6% melasso e minerali

3.6 Calcolo delle emissioni

Tutte le categorie d'impatto scelte sono state calcolate come somma delle componenti "enterico" (fermentazioni ruminali), "refluo" (emissioni durante lo stoccaggio dei reflui), "dieta" (impatto associato alla produzione degli alimenti usati dagli animali), "materiali" (impatto associato a produzione e uso dei materiali di lettiera e fonti energetiche) e "trasporto".
Per la categoria d'impatto GWP, la componente enterica, derivante dalle emissioni di metano originatesi dalle fermentazioni ruminali, è stata calcolata nel modo seguente:

$$\mathrm{CH}_{4\ \mathrm{enterico}}\ (\mathrm{kg\ CH_4/capo/anno}) = \frac{\mathrm{GEI} \times (Y_m/100) \times 365\,(\mathrm{g/anno})}{55{,}65}$$

Dove:

- Gross Energy Intake (GEI) = Gross Energy (GE) × Dry Matter Intake (DMI), in kg/giorno/capo

- $Y_m/100$ = frazione dell'energia convertita in CH_4
- 55,65 MJ/kg CH_4 = contenuto energetico del metano

L'impatto dei reflui, causato dalla composizione chimica degli stessi e dalla loro modalità di gestione, è stato dato dalla somma delle emissioni di CH_4 e di N_2O, che sono state calcolate come segue:

$$\mathrm{CH_{4\ refluo}} = (\mathrm{VS} \times d) \times \left[B_0 \times 0{,}67\,(\mathrm{kg/m^3}) \times \sum \left(\frac{\mathrm{MCF}}{100} \right) \times \mathrm{MS} \right]$$

Dove:

- Solido Volatile (VS), (kg s.s./capo/giorno) = [GEI × (1 − DE%) + (0,04 × GEI)] × (1 − 0,08)/GE
- d = giorni di presenza
- B_0 = massima produzione di metano per kg di letame, 0,18 m^3 CH_4/kg VS
- MCF = fattore di conversione del metano (4% letame, 14% liquame)
- MS = percentuale di refluo gestito come letame e come liquame

$$\mathrm{N_2O_{refluo}} = \mathrm{N_2O_{diretto}} + \mathrm{N_2O_{indiretto}}$$

Dove:

- $\mathrm{N_2O_{diretto}} = N_{\mathrm{escreto}} \times 0{,}005 \times (44/28)$
- $\mathrm{N_2O_{indiretto}} = N_{\mathrm{volatilizzato}} \times 0{,}01 \times (44/28)$
- $N_{\mathrm{volatilizzato}} = N_{\mathrm{escreto}} \times 0{,}28$ (fattore ISPRA: 28%)

Per CH_4 enterico, CH_4 refluo e N_2O refluo i risultati ottenuti, validi per il singolo capo, sono stati moltiplicati per le presenze medie (media di capi usciti e capi entrati) e poi per i fattori di conversione in CO_2-equivalenti (CO_2-eq), che sono i seguenti: 1 kg CH_4 = 28 kg CO_2-eq, 1 kg N_2O = 265 kg CO_2-eq [39]. Il GWP dei materiali è stato calcolato come sommatoria dei prodotti tra le quantità totali di paglia per lettiera, elettricità e gasolio impiegate ed i loro fattori di impatti in CO_2-eq. La quota di GWP della dieta, invece, è stata ottenuta dalla somma del GWP dei singoli ingredienti, moltiplicati per la loro quantità. Per ogni alimento, la quantità (in s.s.) giornaliera ingerita per singolo capo è stata moltiplicata per la durata del ciclo (in giorni), quindi per le presenze medie ed infine per il fattore di emissione in kg CO_2-eq. Per il calcolo della componente legata al

trasporto dei materiali si è ricorsi alla seguente formula:

$$\frac{DMI\,(\text{kg s.s./capo/g}) \times \text{Durata ciclo (g)} \times \text{Presenze medie}}{1000 \times (1 - \text{Fattore autosufficienza})} \times 250 \times 0{,}06$$

Dove:

- Fattore di autosufficienza = quota (%) di alimenti prodotti internamente all'azienda, quindi (1 − Fattore) = quota acquistata esternamente
- 250 = chilometri medi di trasporto
- 0,06 = kg CO_2-eq per tonnellata × km (fattore di emissione)

Per la categoria d'impatto AP si è partiti calcolando la componente derivante dalla gestione dei reflui in termini di ammoniaca (NH_3) emessa tramite la seguente formula:

$$NH_3\,(\text{kg/capo/anno}) = N_{\text{vol}} \times 17/14$$

Dove:

- N_{vol} = azoto volatile
- 17/14 = fattore di conversione da N a NH_3, ovvero il rapporto tra il peso molecolare dell'ammoniaca (NH_3) e quello dell'azoto (N)

Moltiplicando il risultato di questa equazione per il numero medio di capi presenti e per il fattore di conversione in SO_2-eq si è ottenuto l'impatto totale della componente refluo. Per le restanti componenti si è proceduti allo stesso modo di quanto descritto sopra per la categoria GWP, cambiando di volta in volta i vari fattori di emissione e di conversione. Per il calcolo delle categorie d'impatto restanti, ossia EP, CED e LO, i passaggi sono stati gli stessi della categoria AP, applicando fattori di emissione e di conversione diversi per ottenere i risultati in termini, rispettivamente, di PO_4-eq, MJ e m^2. Per ottenere il dato nei termini dell'unità funzionale prescelta (kg BWG), le emissioni totali ottenute per le singole categorie sono state divise per i kg di peso vivo guadagnato uscenti dall'azienda. Come ultima cosa, per calcolare l'impatto complessivo, ai risultati ottenuti per ogni categoria d'impatto sono stati aggiunti i valori della fase antecedente l'arrivo al centro d'ingrasso, tratti da letteratura [40], e pari a 9,6 kg CO_2-eq/kg BW (GWP), 0,145 kg SO_2-eq/kg BW (AP), 0,05 kg PO_4-eq/kg BW (EP), 38,5 MJ/kg BW (CED) e 10,95 m^2/kg BW (LO), tramite la seguente formula:

$$\text{Impatto}_{\text{tot}}\left(\frac{x}{\text{kg BWG}}\right) = \frac{[(\text{IPI} \times \text{BWI} \times \text{Presenze medie}) + \text{II}]}{\text{BWF} \times \text{Animali venduti}}$$

Dove:

- x = unità di misura della categoria d'impatto (GWP = CO_2-eq, AP = SO_2-eq, EP = PO_4-eq, CED = MJ, LO = m^2)
- IPI = valore impatto per kg di peso vivo (fase pre-ingrasso)
- BWI = peso vivo iniziale
- II = impatto totale nella fase di ingrasso
- BWF = peso vivo finale
- Animali venduti = numero complessivo di capi alla vendita

In tabella 3, al fianco dei risultati ottenuti dalle tre aziende per le categorie d'impatto durante il ciclo d'ingrasso, sono presenti i dati relativi all'intero ciclo di vita dell'animale, ottenuti tramite la formula sopracitata.

3.7 Contributi delle componenti alle categorie d'impatto

Per ogni categoria d'impatto sono stati assegnati i contributi percentuali delle varie componenti (enterico, refluo, materiali, dieta, trasporto) rispetto all'impatto totale di ogni categoria, con la percentuale della dieta divisa tra dieta "on-farm" e dieta "off-farm", a seconda dei fattori di autosufficienza calcolati.

Risultati

4.1 Performance di crescita ed ingestione alimentare

La Tabella 1 riporta le caratteristiche strutturali e gestionali dei centri d'ingrasso presi in esame. A livello generale, si può notare come l'azienda 1 si differenzi sostanzialmente dalle aziende 2 e 3, che invece mostrano un profilo più simile tra loro. In particolare, la gestione dell'azienda 1 è basata sull'allevamento di capi maschi, mentre le aziende 2 e 3 allevano nel corso dell'anno sia maschi che femmine, con un rapporto quasi 1 a 1. Inoltre, l'azienda 1 ha acquistato in media capi con un peso iniziale maggiore (280 kg in media, rispetto a 235-241 kg nelle aziende 2 e 3) e venduto capi con un peso finale minore rispetto alle altre due aziende (530 kg vs 568-575 kg). Questa diversa organizzazione si osserva parimenti sulla lunghezza del ciclo d'ingrasso, che nella prima azienda ha avuto una durata media di 7 mesi, mentre nelle altre aziende ha avuto una lunghezza superiore ai 12 mesi. Conseguentemente, anche l'ADG è stato molto diverso tra l'azienda 1 e le aziende 2 e 3 (1,096 contro 0,883 e 0,918 kg/d, rispettivamente). Tale diversità si osserva anche a livello più strutturale. L'azienda 1, infatti, presenta una situazione "senza terra", mentre l'azienda 2 e soprattutto l'azienda 3 incorporano alla parte zootecnica una parte agronomica, con superfici utili (a mais ed erbaio) alla produzione di parte degli alimenti poi usati nel razionamento animale. Circa la gestione dei reflui, l'azienda 1 presenta una gestione maggiormente improntata alla formazione di liquame rispetto a quanto osservato nelle altre due aziende.

Per quanto riguarda l'ingestione e la composizione della razione (Tabella 2), l'ingestione media giornaliera di s.s. è stata rispettivamente di 9,28, 7,81 e 7,53 kg/capo nelle aziende 1, 2 e 3. L'alimento più usato nella preparazione della razione dalle aziende 2 e 3 è stato l'insilato di mais, mentre l'azienda 1 ha sostituito l'insilato con il marcomele, impiegandolo però in proporzioni minori. L'azienda 1 è l'unica delle tre a dipendere completamente dall'esterno per la formulazione delle diete, dato che il suo fattore di autosufficienza è risultato uguale a 0, non disponendo di alcun terreno agricolo. La diversità nella razione si ripercuote sulla composizione chimica, in particolare il tenore proteico, che è risultato essere più elevato nell'azienda 1 (circa 11% s.s.) rispetto a quanto osservato nelle aziende 2 e 3 (intorno a 9.1-9.3% s.s.).

4.2 Categorie d'impatto

Rispetto alla fase di ingrasso, i risultati in termini di impatto sono presentati in Tabella 3. Per le prime tre categorie d'impatto analizzate, legate alle emissioni derivanti dai processi aziendali, si è riscontrata una tendenza simile: l'azienda 1 ha registrato valori molto più alti per kg di BWG rispetto alle aziende 2 e 3, che invece hanno riportato valori vicini tra loro. Per il GWP, infatti, dai calcoli è risultata un'emissione, rispettivamente dall'azienda 1 all'azienda 3, di 13,5, 10,1 e 9,4 kg CO_2-eq/kg BWG. Per la categoria AP, invece, sono stati ottenuti i seguenti valori: 172,4, 138,1 e 132,4 g SO_2-eq/kg BWG, mentre per la terza categoria, EP, sono state riscontrate emissioni pari a 64,0, 56,4 e 56,2 g PO_4-eq/kg BWG. Circa le due categorie riferite all'uso delle risorse (energia, CED e suolo, LO), la situazione è risultata essere diversa. In particolare, il consumo di energia è stato più alto per l'azienda 2 (54,0 MJ/kg BWG), seguita dalla prima (49,1 MJ/kg BWG) e dalla terza (46,4 MJ/kg BWG), mentre per la categoria LO, valori molto simili sono stati trovati per le aziende 1 e 2 e un valore decisamente più basso per l'azienda 3 (11,9 e 11,6 contro 10,6 m^2/kg BWG).

Passando dalla sola fase d'ingrasso al ciclo completo (nascita dell'animale − vendita al macello), in tabella 3 si può vedere come, per l'azienda 1, se si considera anche la fase precedente all'arrivo degli animali nei centri d'ingrasso i valori di tutte le categorie d'impatto diminuiscono consistentemente, eccezion fatta per la LO che varia minimamente; prendendo infatti i valori della fase d'ingrasso come riferimento, considerando la fase pre-ingrasso il GWP diminuisce del 15%, l'AP dell'8%, l'EP dell'11%, il CED del 13% e la LO del 3%. Per l'azienda 2 i risultati ottenuti tra fase d'ingrasso e ciclo completo sono stati più vicini, con variazioni minori del 5% ad esclusione del CED, in cui la differenza è stata dell'11%; in tutte le categorie, comunque, l'impatto del ciclo completo è risultato minore rispetto al solo ingrasso, eccezion fatta per l'AP (+3%). Anche per l'azienda 3 i valori sono stati simili, tanto da non distanziarsi mai più del 6%: GWP, EP e CED più alti per la fase d'ingrasso, AP e LO più alti per il ciclo completo.

Nelle figure 3a, 3b, 3c, 3d, 3e è rappresentata l'influenza per ogni azienda delle due fasi, pre-ingrasso ed ingrasso, nelle cinque categorie d'impatto. Nel GWP la prima fase vale il 44,8, 41,8 e 42% rispettivamente per azienda 1, 2 e 3. Anche per la categoria AP l'importanza della fase pre-ingrasso è inclusa nella fascia tra il 40 ed il 50% e decresce dall'azienda 1 (48,8%) all'azienda 3 (43,6%). La tendenza che vede l'importanza della prima fase del ciclo di vita dei vitelloni diminuire dall'azienda 1 fino all'azienda 3 si conferma anche per l'EP: dal 46,9% della prima azienda, passando per il 40,2% della seconda fino al 38,6% della terza. Anche nelle ultime due categorie, CED e LO, l'azienda 1 è stata quella con la percentuale legata al pre-ingrasso più alta (47,9% per CED e 50,9% per LO), mentre l'azienda 3 si è piazzata al secondo posto in entrambi i casi (37,0% per CED e 42,0% per LO), con l'azienda 2 in coda (35,1% per CED e 41,5% per LO). Dalla media dei contri-

buti delle due fasi nelle tre aziende per ogni categoria d'impatto si è ottenuto il grafico rappresentato in figura 4, dove si può vedere come la fase di pre-ingrasso, qualsiasi sia la categoria d'impatto considerata, vari all'interno di un range molto limitato compreso tra il 44 ed il 49%.

Tabella 3: Valori di impatto relativi alle tre aziende delle cinque categorie d'impatto considerate, per kg di peso vivo (BWG) ottenuto durante il ciclo di ingrasso e per l'intero ciclo vitale degli animali.

Categoria d'impatto	Azienda 1		Azienda 2		Azienda 3	
	Fase ingrasso	Ciclo completo	Fase ingrasso	Ciclo completo	Fase ingrasso	Ciclo completo
GWP[1] (kg CO_2-eq/kg BWG[2])	13,5	11,4	10,1	10,0	9,4	9,6
AP[3] (g SO_2-eq/kg BWG)	172,4	158,5	138,1	142,6	132,4	138,9
EP[4] (g PO_4-eq/kg BWG)	64,0	56,8	56,4	54,3	56,2	54,1
CED[5] (MJ/kg BWG)	49,1	42,8	54,0	47,9	46,4	43,5
LO[6] (m^2/kg BWG)	11,9	11,5	11,6	11,5	10,6	10,9

[1] GWP = Global Warming Potential
[2] BWG = Body Weight Gain
[3] AP = Acidification Potential
[4] EP = Eutrophication Potential
[5] CED = Cumulative Energy Demand
[6] LO = Land Occupation

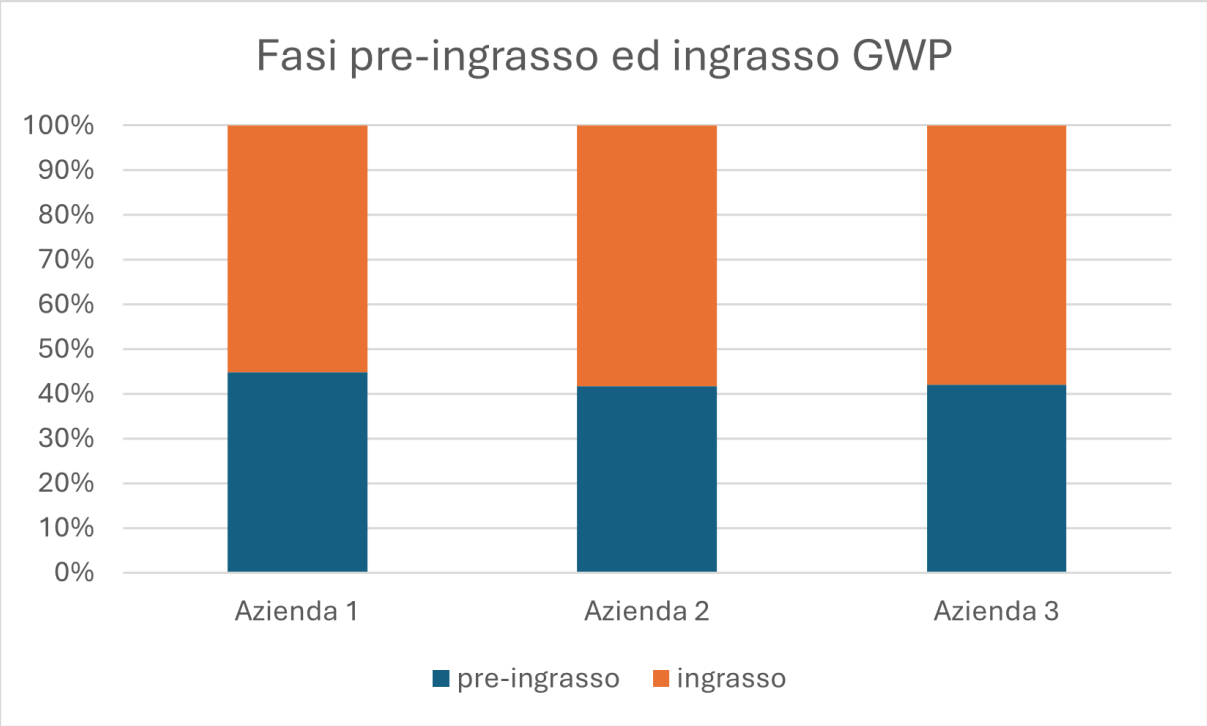

Figura 3a: Contributi percentuali delle fasi pre-ingrasso ed ingrasso alla categoria d'impatto Global Warming Potential (GWP).

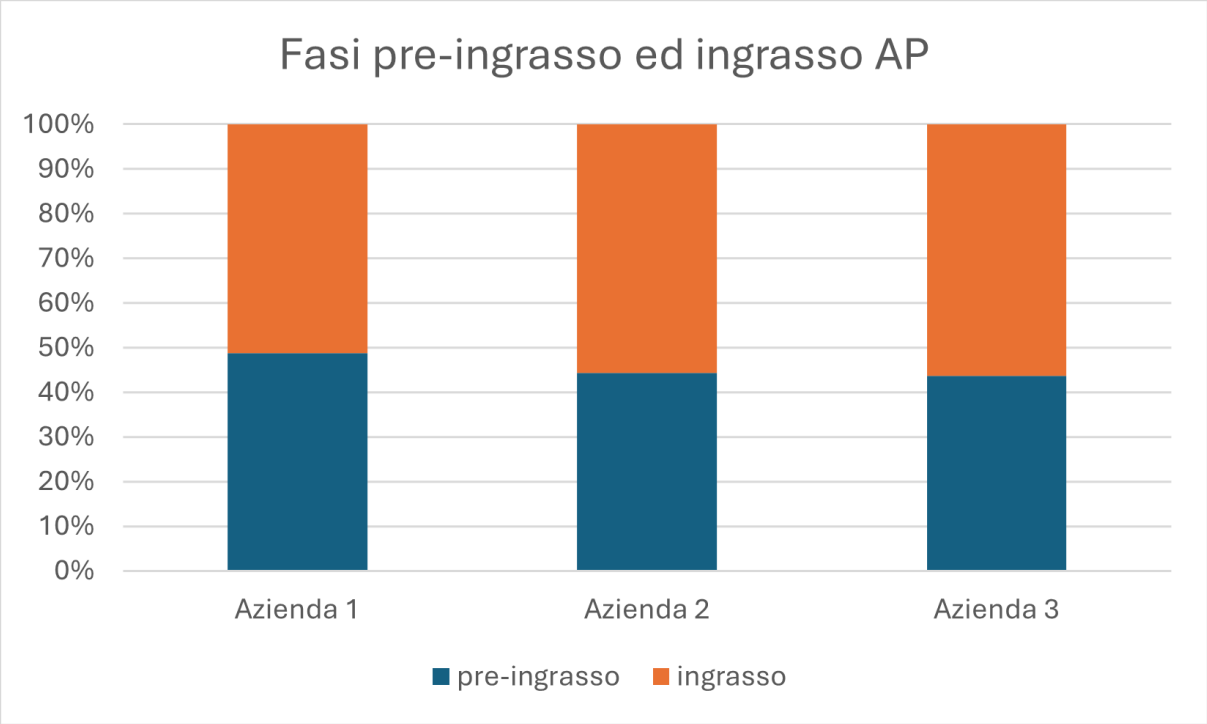

Figura 3b: Contributi percentuali delle fasi pre-ingrasso ed ingrasso alla categoria d'impatto Acidification Potential (AP).

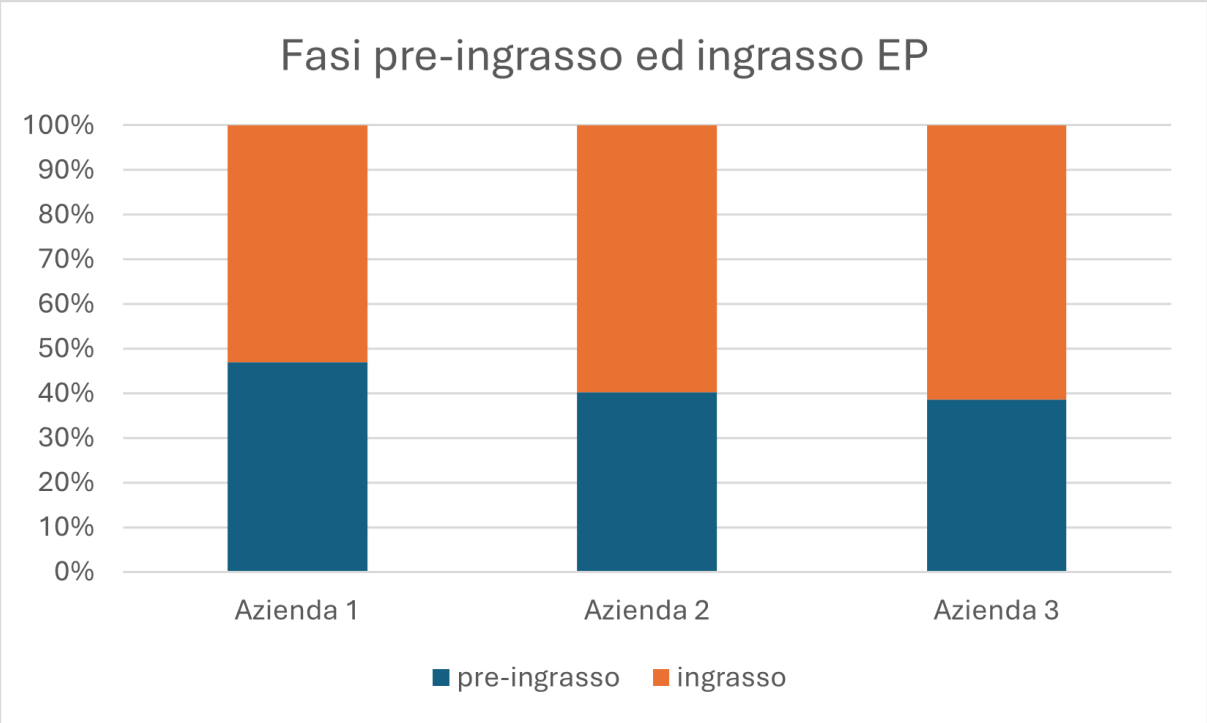

Figura 3c: Contributi percentuali delle fasi pre-ingrasso ed ingrasso alla categoria d'impatto Eutrophication Potential (EP).

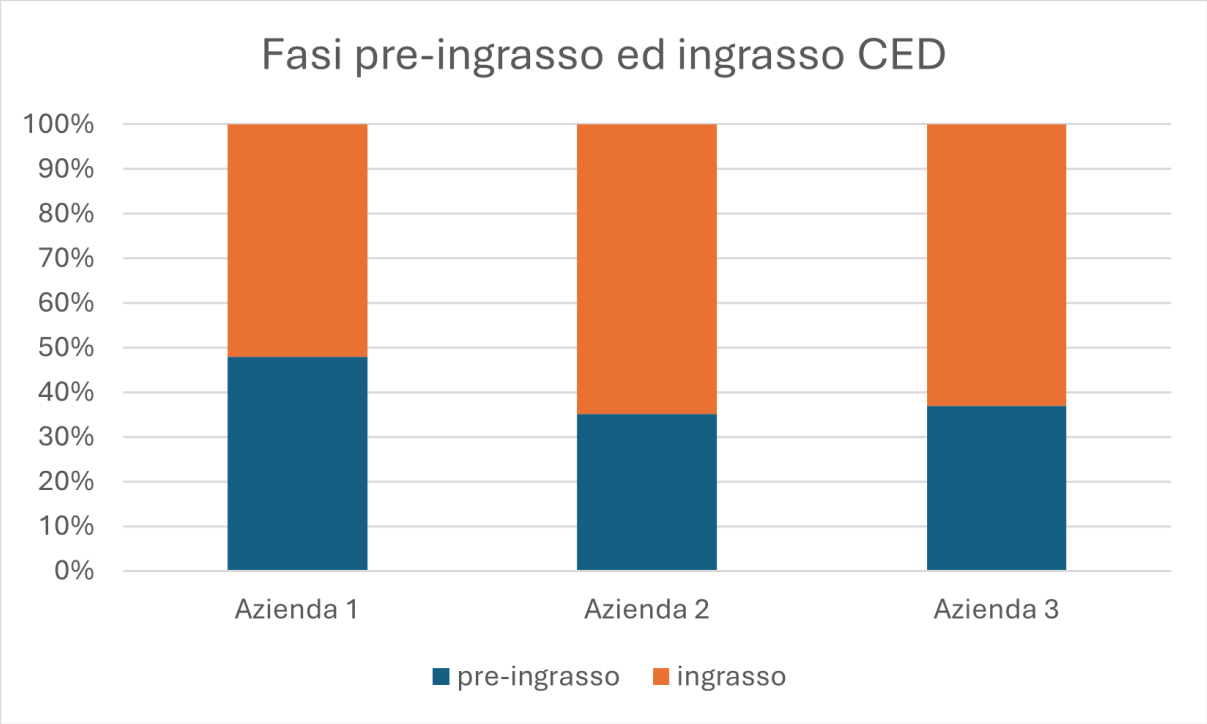

Figura 3d: Contributi percentuali delle fasi pre-ingrasso ed ingrasso alla categoria d'impatto Cumulative Energy Demand (CED).

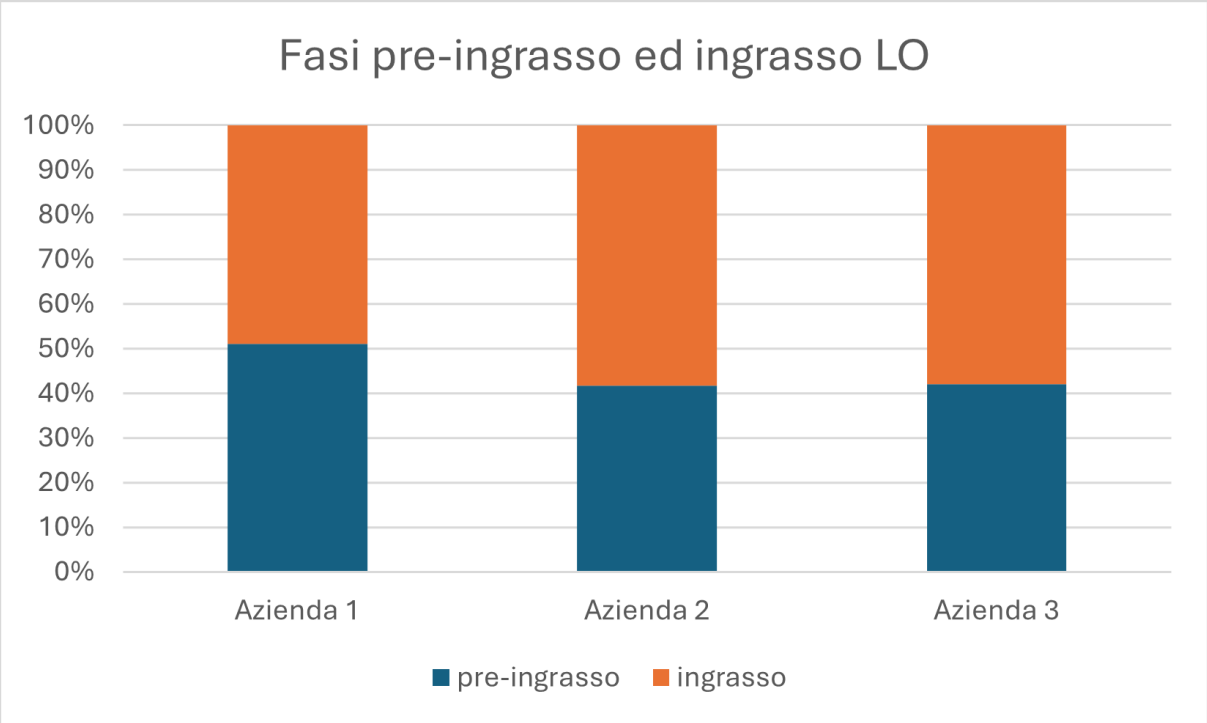

Figura 3e: Contributi percentuali delle fasi pre-ingrasso ed ingrasso alla categoria d'impatto Land Occupation (LO).

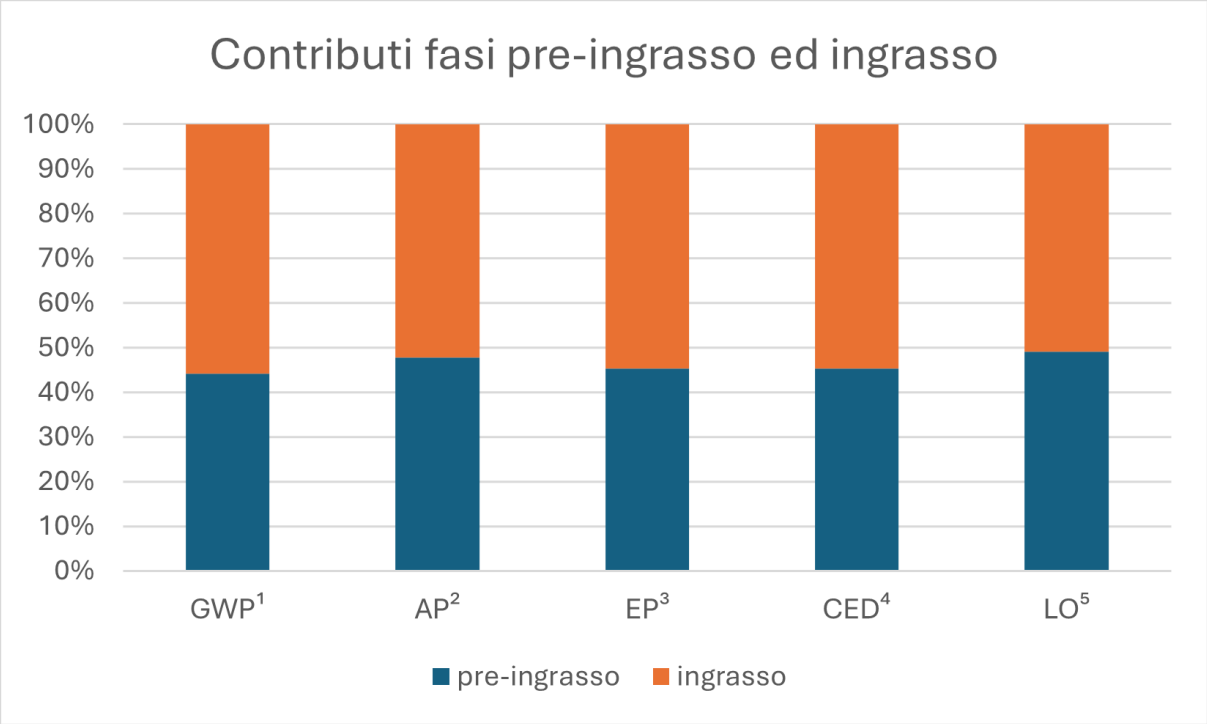

Figura 4: Contributi percentuali medi delle fasi pre-ingrasso ed ingrasso alle cinque categorie d'impatto considerate. [1]GWP = Global Warming Potential; [2]AP = Acidification Potential; [3]EP = Eutrophication Potential; [4]CED = Cumulative Energy Demand; [5]LO = Land Occupation.

4.3 Impatto delle diverse fasi aziendali in ogni categoria

In ogni categoria d'impatto e in ogni azienda le diverse componenti (enterico, refluo, materiali, dieta, trasporto) hanno contribuito in proporzioni differenti, come si può vedere nelle figure 5a, 5b, 5c, 5d, 5e. In figura 5a, la componente predominante della categoria GWP è stata, per tutte e tre le aziende, quella enterica, che ha contribuito per il 56,1, 48,3 e 48,0% del totale dei CO_2-eq emessi rispettivamente dalle aziende 1,2 e 3; a seguire la dieta che ha contribuito per il 30-35%, divisa tra dieta on-farm e dieta off-farm, con l'azienda 1 che è stata l'unica a far registrare un valore pari a 0 per la parte di on-farm in quanto priva di terreni coltivati.

Nella categoria AP, come visibile dalla figura 5b, sono stati ottenuti risultati diversi tra le aziende. Sebbene, infatti, la somma di refluo e dieta si attesti intorno al 95% in tutti e tre i casi, la ripartizione tra le due componenti varia notevolmente: 63,2% refluo e 32,3% dieta (off-farm) per l'azienda 1, 42,6% refluo e 52,2% dieta (16,2% on-farm e 36,0% off-farm) per l'azienda 2, 38,9% refluo e 56,0% dieta (26,1% on-farm e 29,9% off-farm) per l'azienda 3.

Un discorso simile può essere fatto per la categoria EP; anche qui infatti le componenti refluo e dieta sommate insieme corrispondono a circa il 93% delle emissioni totali di PO_4-

eq ed anche qui vi sono spiccate differenze tra i soggetti presi in esame. Nell'azienda 1, infatti, le emissioni dei reflui valgono il 37,3% e quelle della dieta il 55,7% (off-farm); nell'azienda 2 il 22,8% dei PO_4-eq ha origine dai reflui e il 69,7% dalla dieta (21,7 on-farm e 48,0% off-farm); nell'azienda 3 la componente reflua vale il 20,1% e la dieta il 72,7% (33,9% on-farm e 38,8% off-farm). I dati riguardati la categoria EP si trovano in figura 5c.
Nel caso del CED, la dieta ha ricoperto un ruolo predominante, attestandosi al 74,0% nel caso della prima azienda e superando l'80% nelle altre due; seguono i materiali, che si attestano tra il 14 ed il 16% e non trascurabile è il contributo della componente trasporto, che tocca qualche punto percentuale nelle aziende 2 e 3 e raggiunge il 10% nel caso dell'azienda 1 (figura 5d).
Nell'ultima categoria considerata, riguardante la LO, la quasi totalità dei m^2 è stata impiegata per la produzione degli alimenti, tanto che la componente dieta raggiunge all'incirca il 95% in tutte e tre le aziende, con il restante 5% attribuito ai trasporti. Anche in questo caso il contributo della parte on farm è pari a 0% per l'azienda 1, mentre vale il 29,5% per l'azienda 2 ed il 44,2% per l'azienda 3, come visibile in figura 5e.
Nella figura 6 è stata fatta una media dei risultati ottenuti dalle tre aziende per le varie componenti in ogni categoria d'impatto, in modo da poter confrontare le cinque categorie tra di loro. Dai grafici emerge come la componente enterica compaia solo nel calcolo del GWP, dove da sola è fonte di oltre il 50% delle emissioni. Nelle categorie AP ed EP svolgono invece un ruolo importante i reflui, dato che causano rispettivamente il 48,3 ed il 26,7% delle emissioni di SO_2-eq e di PO_4-eq. La componente legata alla dieta ha avuto un'importanza sempre crescente dalla prima categoria all'ultima: 34,0% nel GWP, 46,8% nell'AP, 66,1% nell'EP, 80,4% nel CED, 94,4% nella LO; per ogni categoria, inoltre, la componente della dieta off-farm è sempre stata maggiore rispetto a quella on-farm, anche se questo risultato è influenzato dal fatto che l'azienda 1 non avesse una parte dei suoi alimenti di produzione propria. La componente legata ai materiali compare come attore secondario in tutte le categorie, non superando mai il valore del 10% eccezion fatta per la categoria CED, in cui raggiunge il 15,4%. Proprio la categoria CED è l'unica in cui la componente dei trasporti ha un ruolo non trascurabile, attestandosi al 4%, mentre nelle altre categorie non supera mai il punto percentuale.

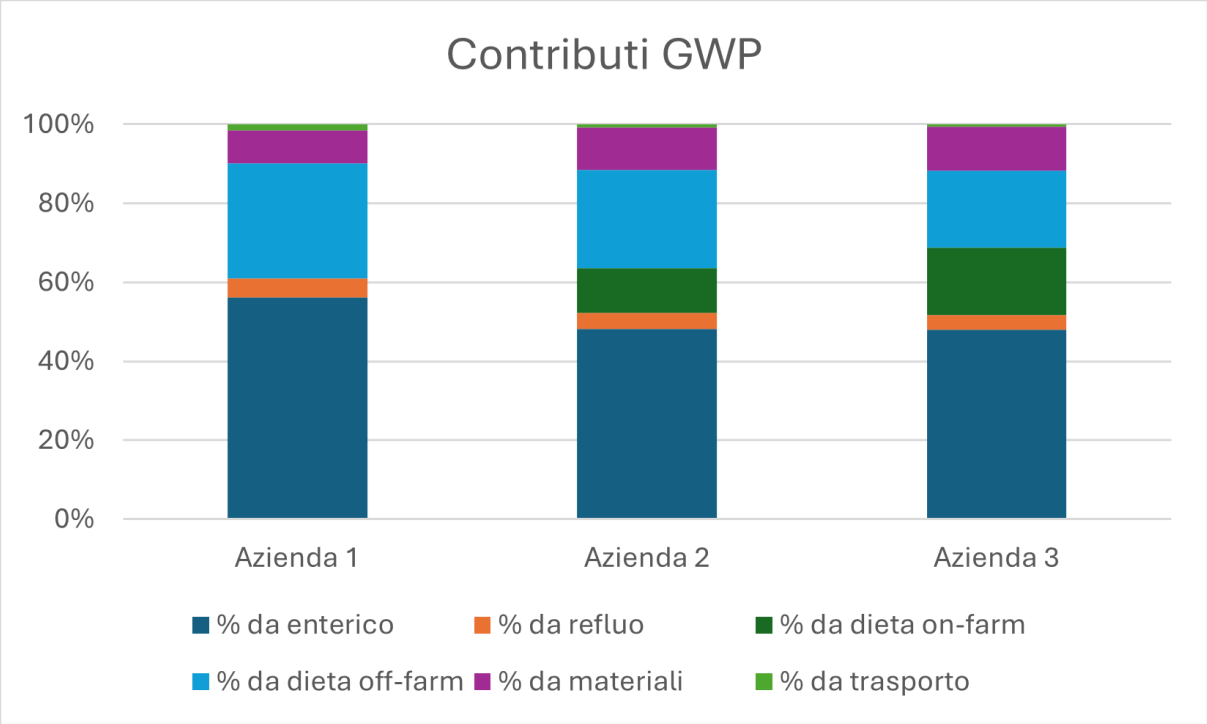

Figura 5a: Contributi percentuali delle fasi aziendali alla categoria d'impatto Global Warming Potential (GWP).

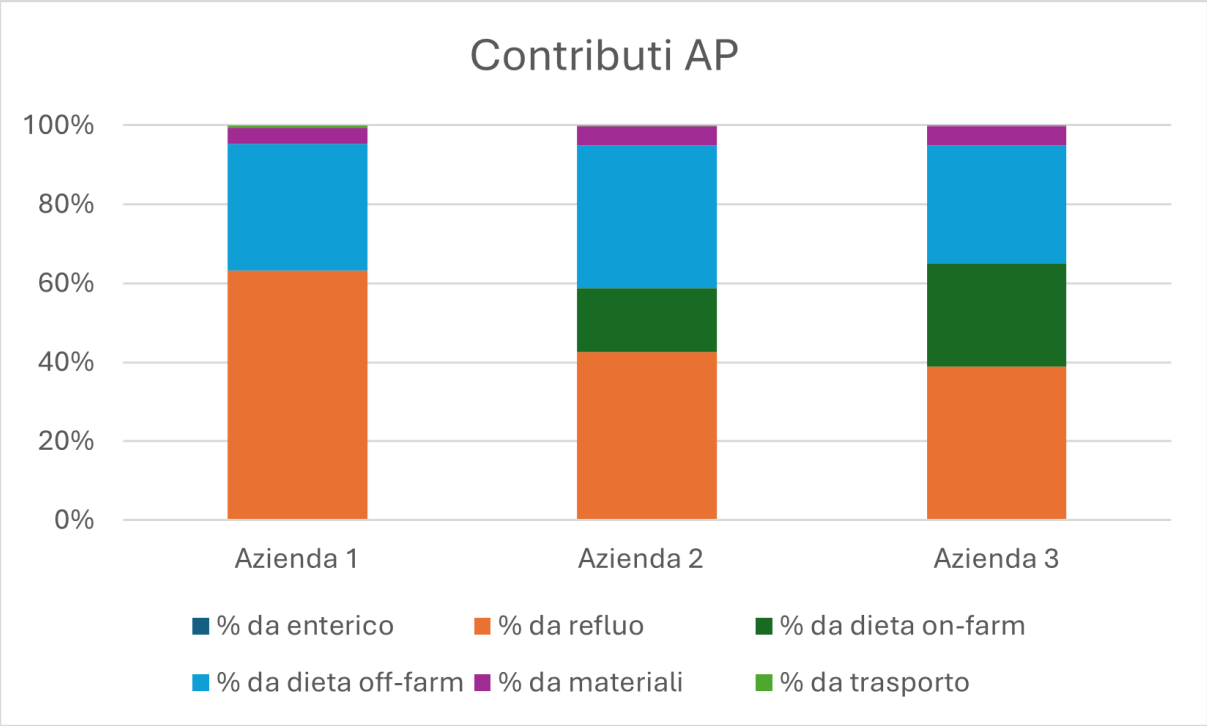

Figura 5b: Contributi percentuali delle fasi aziendali alla categoria d'impatto Acidification Potential (AP).

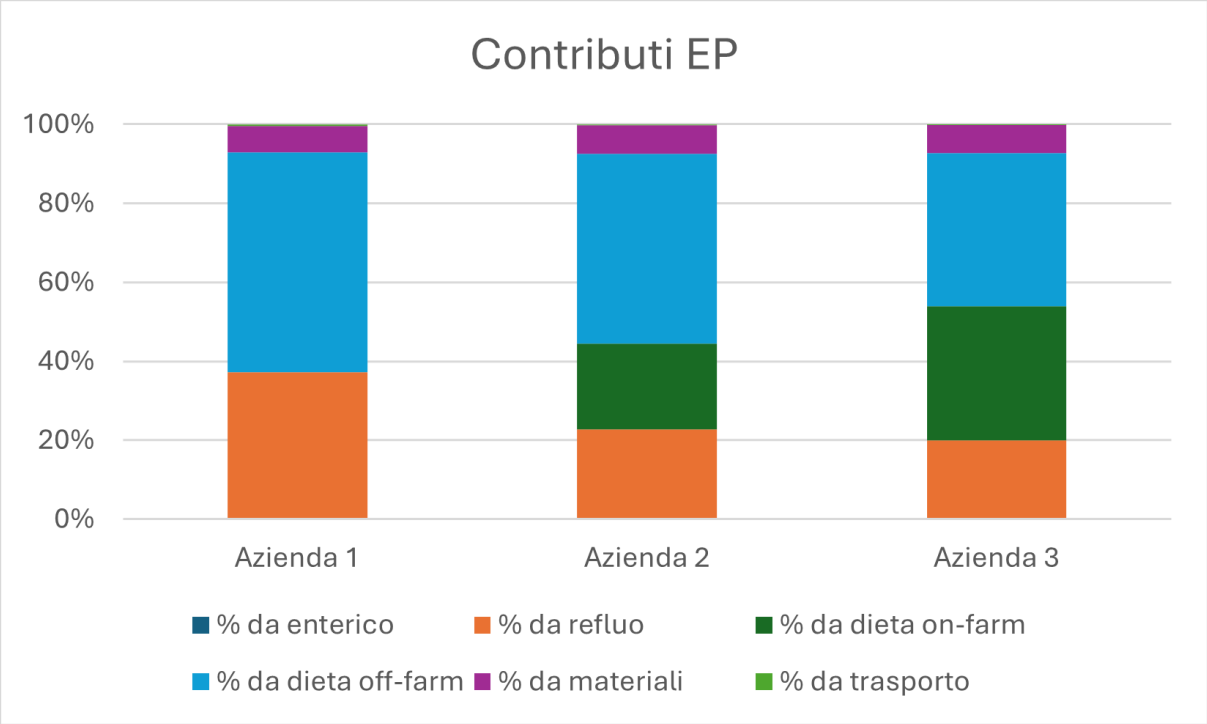

Figura 5c: Contributi percentuali delle fasi aziendali alla categoria d'impatto Eutrophication Potential (EP).

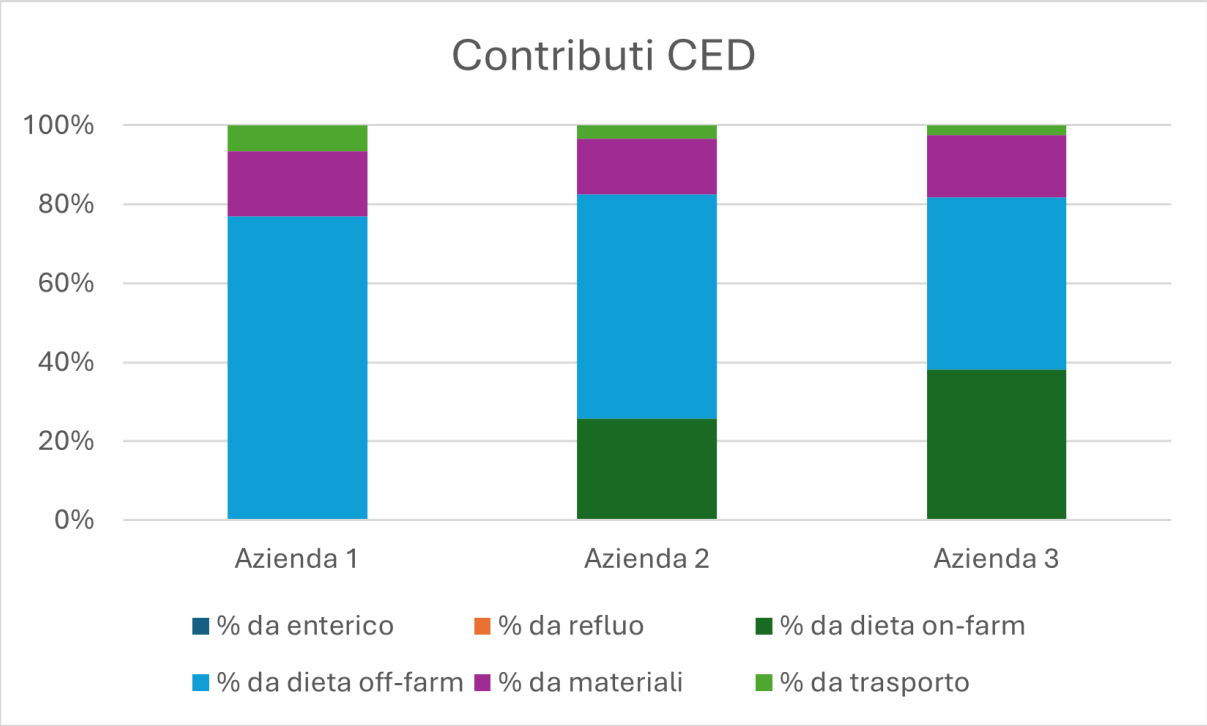

Figura 5d: Contributi percentuali delle fasi aziendali alla categoria d'impatto Cumulative Energy Demand (CED).

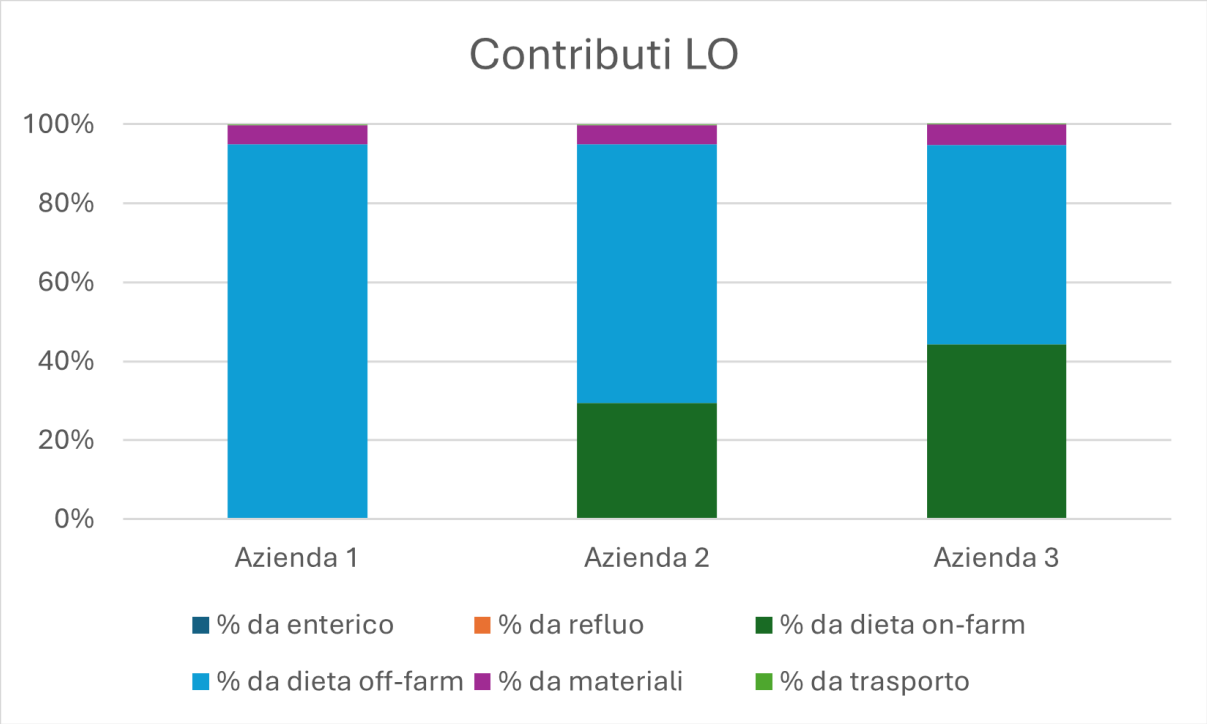

Figura 5e: Contributi percentuali delle fasi aziendali alla categoria d'impatto Land Occupation (LO).

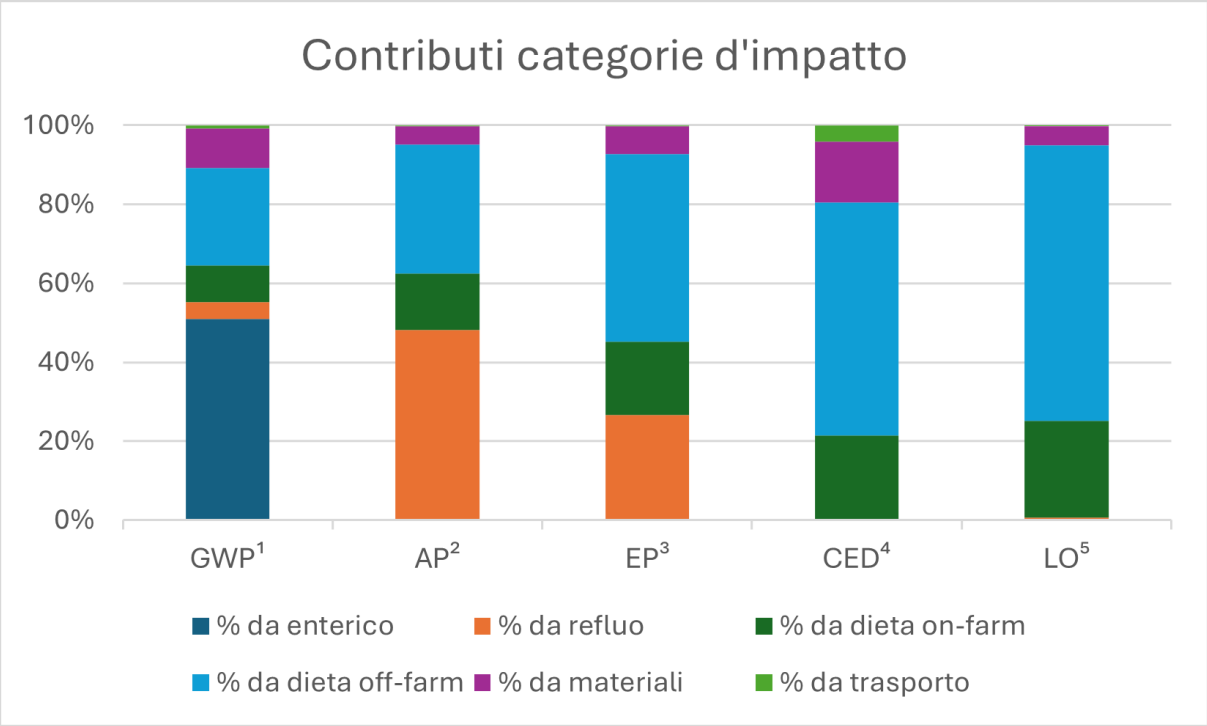

Figura 6: Contributi percentuali medi delle diverse fasi aziendali alle cinque categorie d'impatto considerate. [1]GWP = Global Warming Potential; [2]AP = Acidification Potential; [3]EP = Eutrophication Potential; [4]CED = Cumulative Energy Demand; [5]LO = Land Occupation.

Discussione

5.1 Performance di crescita ed ingestione alimentare

Dalle varie tabelle e figure si può notare come vi sia una sostanziale differenza tra l'azienda 1 e le restanti due: la prima ospita un numero cospicuo di capi, tutti maschi, e riesce a finire il ciclo d'ingrasso in soli 7 mesi e mezzo; la seconda e la terza, invece, allevano molti meno capi (1050 capi entranti/anno per l'azienda 1 contro 121 e 162 per le aziende 2 e 3) e hanno un ciclo d'ingrasso molto più lungo, superiore all'anno. La maggiore ingestione giornaliera in termini sia di kg s.s./giorno (9,28) che di percentuale sul peso vivo medio (2,29) e il contenuto più alto di proteina della razione (11,0%) spiegano il maggior ADG dell'azienda 1 e dunque la possibilità di accorciare i tempi del ciclo d'ingrasso. Le altre due aziende, invece, oltre a somministrare razioni con un minor contenuto di proteina (9,33 e 9,07% rispettivamente per azienda 2 e 3) ed avere valori di ingestione inferiori (7,81 e 7,53 kg s.s./d e 1,93 e 1,86% BW medio), acquistavano ristalli più leggeri e li vendevano al macello ad un peso maggiore rispetto alla prima azienda; tutti questi fattori giustificano il minor ADG e la lunghezza temporale maggiore del ciclo d'ingrasso.
Osservando le razioni, si può vedere come l'azienda 1 prepari l'unifeed con una maggior varietà di ingredienti rispetto alle altre due aziende e, utilizzando alimenti con un più alto contenuto di proteina, riesca a ridurre il quantitativo di mangime proteico da somministrare ; altra peculiarità dell'azienda 1 è l'utilizzo del marcomele, un sottoprodotto derivante dall'industria delle mele, che va a sostituire l'insilato nella sua funzione energetica. L'utilizzo di un sottoprodotto quale il marcomele potrebbe risultare vantaggioso in termini economici e dovrebbe avere risvolti positivi dal punto di vista ambientale; l'impatto della dieta è infatti risultato minore rispetto a quello delle altre componenti nel caso dell'azienda 1 rispetto alle aziende 2 e 3 che hanno adoperato l'insilato; nonostante l'effetto positivo legato all'introduzione del marcomele, però, l'uso di altri alimenti quali le farine di mais e di frumento acquistate esternamente per sopperire alle carenze nutritive del marcomele stesso ha parzialmente controbilanciato l'effetto positivo di quest'ultimo.

5.2 Categorie d'impatto

Partendo dal GWP si può evincere come l'azienda 1, per kg di BWG, abbia generato un'emissione maggiore di gas ad effetto serra (in CO_2-eq) rispetto alle altre due aziende. Questo può essere spiegato da diversi fattori. In primis, la quantità di azoto ingerito derivante dalla dieta e successivamente escreto è stato molto più alto che nelle altre due aziende, non giustificando il guadagno in ADG ottenuto: in sostanza, sebbene i capi dell'azienda 1 abbiano ritenuto complessivamente più N, lo hanno fatto in maniera meno efficiente, generando una quantità di N escreto più che proporzionale rispetto al peso guadagnato. Questo significa che la dieta somministrata ha consentito sì una produzione maggiore e in tempi più veloci, ma in maniera deficitaria dal punto di vista ambientale. La maggior ingestione di sostanza secca ha comportato emissioni maggiori di metano enterico e la maggior quantità di N escreto un quantitativo maggiore di N_2O emesso da parte dei reflui. Per le componenti materiali e dieta, l'azienda 1 si è dimostrata più efficiente delle altre due, anche grazie all'utilizzo del sottoprodotto marcomele, mentre per la componente legata ai trasporti, l'assenza di alimenti autoprodotti in azienda ha contribuito al saldo negativo in termini di emissioni di CO_2-eq. Il vero handicap dell'azienda 1 è legato però al metano enterico proveniente dalle fermentazioni ruminali: la dieta ricca in concentrati somministrata non si è dimostrata efficiente dal punto di vista ambientale, tanto che il valore in termini di CO_2-eq emessi/kg s.s. ingerita è risultato pari a 0,46, molto maggiore rispetto ai valori di 0,40 e 0,41 delle aziende 2 e 3; questo legato alla grande rilevanza delle emissioni enteriche sul totale dei CO_2-eq emessi (figura 5a) ha portato ad avere un GWP molto differente tra l'azienda 1 e le aziende 2 e 3.
Per la categoria AP, i trend sono gli stessi presentati per il GWP. In questo caso la componente dominante è quella legata alle emissioni dovute allo stoccaggio dei reflui, ed anche qui le aziende 2 e 3 hanno mostrato valori migliori rispetto all'azienda 1. Le emissioni di NH_3 dei reflui derivano infatti dall'azoto escreto e, essendo l'azienda 1 meno efficiente da questo punto di vista, il risultato è stato un quantitativo molto maggiore di emissioni di NH_3 rispetto alle altre due. Per quel che concerne i materiali e la dieta, in questo caso i valori dell'azienda 1 si sono dimostrati in proporzione migliori di quelli delle altre due, mentre per il trasporto è successo il contrario, anche se la proporzione di quest'ultimo rispetto al totale è risultata poco rilevante, come si può vedere in figura 5b.
Nel caso dell'EP, la maggior parte delle emissioni di PO_4-eq è dovuta alla produzione della dieta per gli animali, seguita dai reflui e dai materiali (figura 5c). Proprio come per le due categorie precedenti, l'azienda 1 si è dimostrata più virtuosa nella gestione delle emissioni provenienti dalla dieta e dai materiali, mentre le aziende 2 e 3 hanno prevalso nella componente trasporti e soprattutto in quella legata ai reflui. In questo caso, però, la minor incidenza della componente legata allo stoccaggio dei reflui e, allo stesso tempo la maggior importanza della componente dieta hanno permesso di accorciare le distanze tra

l'azienda 1 e le aziende 2 e 3. Nel caso del GWP, infatti, impostando il valore ottenuto dall'azienda 1 pari a 100, le emissioni delle aziende 2 e 3 sono state minori rispettivamente del 25 e del 30%; per la categoria AP, impostando sempre come riferimento le emissioni dell'azienda 1, i valori dell'azienda 2 sono risultati inferiori del 20% e quelli dell'azienda 3 del 23%; per l'EP, invece, questa differenza si è ridotta al 12% nei confronti di entrambe le aziende.
Nella categoria CED, vi è stato un cambio dei rapporti: l'azienda con l'impatto maggiore è stata la numero 2, mentre le aziende 1 e 3 sono risultate vicine tra loro; in tutti e tre i casi, comunque, la componente che più ha influito è stata la dieta (figura 5d) e, proprio all'interno di questa componente l'azienda 2 ha avuto i risultati peggiori, a causa dell'impiego di quantità maggiori di nucleo proteico, alimento associato a un grande consumo di energia per la sua produzione.
Nell'ambito dell'ultima categoria analizzata, la LO, c'è stato un'altra variazione nei rapporti tra le aziende: le aziende 1 e 2 hanno ottenuto risultati simili, superiori però a quelli dell'azienda 3, che in questa categoria è quella che si è meglio comportata. Essendo la coltivazione degli alimenti l'elemento più influente all'interno della categoria, non sorprende che l'azienda con la quota di autosufficienza più alta abbia ottenuto i risultati migliori.
Tralasciando l'azienda 1 che comprava tutti gli alimenti dal mercato, la differente quota di autoproduzione tra le aziende 2 e 3 (46% contro 64%) ha contribuito a rendere quest'ultima migliore della seconda in tutte le categorie d'impatto analizzate, attribuendole dunque il titolo di migliore tra le tre aziende dal punto di vista dell'impatto ambientale.
Tendenzialmente, per ogni azienda e categoria d'impatto, il contributo della fase di pre-ingrasso svolta all'esterno delle aziende analizzate, ottenuto tramite dati di letteratura, è stato sempre minore del 50% ma comunque mai inferiore al 35%. In tutte le categorie d'impatto, l'azienda 1 ha mostrato valori maggiori rispetto alle aziende 2 e 3, che si sono invece posizionate vicine tra loro. Il fatto che i valori delle due fasi, pre-ingrasso ed ingrasso, siano stati misurati facendo riferimento ai kg di peso dell'animale attribuibili all'una o all'altra fase, spiega il perché di questi risultati. L'azienda 1, infatti, acquistava i ristalli a pesi maggiori e li vendeva al macello a pesi minori rispetto alle altre due aziende; questo ha fatto sì che complessivamente i kg di peso vivo guadagnati in azienda siano stati minori in proporzione rispetto al peso totale dell'animale. Per l'azienda 1, infatti, circa il 53% del peso vivo finale è dovuto alla fase di pre-ingrasso, mentre per le aziende 2 e 3 solo il 42% e il 41% del peso ha avuto origine al di fuori dei cancelli delle aziende. Occorre tuttavia fare una distinzione all'interno delle categorie d'impatto: se per GWP ed AP il divario tra la prima azienda e le altre due rientra nell'ordine dei cinque punti percentuali, nelle restanti tre categorie (EP, CED e LO) il divario si amplia talvolta oltre il 10%. Nelle categorie in cui l'impatto della dieta assume importanze maggiori, non stupisce che le aziende 2 e 3, che hanno una quota di autosufficienza maggiore e si producono dunque parte degli alimenti da sé, impiegando energia e occupando terreno, si distacchino ancora

di più dall'azienda 1 che invece acquista tutti gli alimenti sul mercato. I risultati sono mostrati nelle figure 3a, 3b, 3c, 3d, 3e.
La Figura 4, ottenuta dalla media dei valori delle tre aziende per ogni categoria d'impatto, non rappresenta fedelmente quanto indicato sopra, andando a perdere la caratteristica della variabilità imputabile alla gestione aziendale, così come avviene in Figura 6; dimostra però come alla fine la fase d'ingrasso, in ogni categoria, contribuisca generalmente leggermente di più rispetto a quella extra-aziendale.

5.3 Impatto delle diverse fasi aziendali in ogni categoria

Osservando la figura 6 si può comprendere come il metano enterico abbia un ruolo centrale nel determinare le emissioni totali di CO_2-eq, ma non contribuisca in nessun modo alle altre categorie; diminuire le emissioni di CH_4 migliorando la qualità della razione e degli alimenti che compongono la razione stessa può si aiutare a diminuire il quantitativo di gas serra rilasciati in atmosfera ma non impatterà sulle altre categorie. Va inoltre specificato che è vero che il metano ha un impatto climalterante 85 volte quello della CO_2 su un arco di 20 anni, ma è altrettanto vero che la CO_2 ha un tempo di permanenza in atmosfera di migliaia di anni, mentre il metano scompare in circa 10-15 anni [41].
Per quanto riguarda i reflui e la loro gestione, invece, si può vedere come incidano su tutte le categorie d'impatto legate alle emissioni (GWP, AP, EP, figure 5a, 5b e 5c) ed in particolare contribuiscano a quasi il 50% del totale degli SO_2-eq della categoria AP. Una migliore gestione delle deiezioni, tramite anche l'attuazione di tecniche atte a ridurne le emissioni in atmosfera come l'utilizzo di coperture nelle concimaie/vasche di raccolta o l'acidificazione [42] [43] potrebbe avere risvolti positivi su tutte e tre le categorie d'impatto che si occupano di emissioni.
Dalla figura 6 emerge anche come la dieta sia la componente nel complesso più influente, ricoprendo un ruolo importante nel totale delle emissioni delle categorie GWP (figura 5a) e AP (figura 5b), preponderante nella categoria EP (figura 5c) e costituisca quasi la totalità dell'impatto delle due categorie correlate all'utilizzo delle risorse, ossia CED e LO (figure 5d e 5e). Appare dunque scontato sottolineare come concentrarsi su questa componente, partendo dalla coltivazione in campo degli alimenti fino alle tecniche di somministrazione della razione, possa portare effetti benefici in ogni categoria d'impatto analizzata. Aumentare la quota di autoproduzione [6] e optare per tecniche di coltivazione sostenibili limitando ove possibile l'uso di pesticidi e concimi minerali potrebbe avere un effetto a cascata positivo sotto tutti i punti di vista.
Per quel che concerne le componenti legate al trasporto degli alimenti e dei materiali e all'utilizzazione dei materiali stessi, il loro impatto all'interno delle cinque categorie analizzate è stato poco rilevante, specie per i trasporti; aumentare il fattore di autosufficienza delle aziende potrebbe sicuramente avere effetti positivi in entrambe le componenti,

ma il risultato contribuirebbe in minima parte a ridurre l'impatto totale all'interno delle categorie prese in esame.

5.4 Confronto con il sistema di produzione integrato Francia - Italia

Per il confronto tra i vitelloni beef x dairy e il sistema d'ingrasso del vitellone tipico del Veneto è stato preso come riferimento il lavoro di Berton [26]. Gli Charolaise dello studio di Berton et al. mostrano un peso all'arrivo e un peso finale molto maggiori rispetto ai vitelloni Frisona x Blu Belga: 387 kg contro i 280 kg dell'azienda 1 all'arrivo e 731 kg contro i 575 kg dell'azienda 3 all'uscita. L'ADG degli Charolaise, pari a 1,52 kg/d è risultato essere il 38% più alto rispetto al migliore ADG delle tre aziende, pari a 1,096 kg/d per l'azienda 1; il ciclo d'ingrasso di queste due realtà, tuttavia, ha avuto la stessa durata media: 7,5 mesi. L'ingestione di s.s. giornaliera ha raggiunto i 10,6 kg per gli Charolaise, superando di oltre 1,3 kg quella dell'azienda 1 e di circa 3 kg quella delle restanti due aziende, mentre il fattore di autosufficienza, pari al 44% si è avvicinato molto a quello dell'azienda 2 (46%).
Nelle cinque categorie d'impatto si sono verificate situazioni diverse. Nel GWP, la fase italiana del settore integrato Francia – Italia ha fatto registrare un valore pari a 10 kg CO_2-eq, pressoché identico al valore fatto registrare dall'azienda 2. Per l'AP, invece, i 189 g di SO_2-eq sono risultati essere maggiori di circa il 10% rispetto ai 172,4 g dell'azienda 1, la meno virtuosa tra le tre in questa categoria. Il trend è invece invertito per la categoria EP, dove le partite di Charolaise hanno mostrato valori più bassi di circa il 10% rispetto alle aziende 2 e 3 (51 vs 56,4 e 56,2 g PO_4-eq). Per quanto riguarda il CED, il valore di 52 MJ si colloca al di sopra di quelli fatti registrare dalle aziende 1 e 3 ma comunque sotto i 54,0 MJ dell'azienda 2. Nell'ultima categoria, LO, il risultato di 7,7 m^2 fatto registrare nello studio di Berton è invece risultato essere molto inferiore rispetto ai valori di tutte e tre le aziende, più basso del 27% rispetto al dato dell'azienda 3 e addirittura del 35% rispetto al dato dell'azienda 1.
Prendendo in considerazione l'intero ciclo di vita dell'animale, considerando dunque anche la fase al pascolo francese nella filiera Francia – Italia e il periodo trascorso dagli animali nelle aziende da latte per quella trentina, i risultati cambiano. Il confronto con il lavoro di Berton è stato fatto prendendo come riferimento il metodo di allocazione economico. Nel caso del GWP il valore di 13,1 kg CO_2-eq fatto registrare dai vitelloni Charolaise è stato maggiore anche rispetto al dato dell'azienda 1, peggiorando il risultato ottenuto durante la fase d'ingrasso italiana. Anche nelle categorie AP ed EP l'aggiunta della fase francese ha peggiorato i risultati della fase italiana, seppur in maniera molto meno rilevante; questo ha fatto sì che, anche in questi due casi, il sistema Francia – Italia abbia avuto un risultato

peggiore rispetto alle tre aziende di questa tesi, anche se nel caso dell'EP i parametri con l'azienda 1 sono stati quasi identici (57 vs 56,8 g PO_4-eq). Nel caso del CED, invece, il valore di 37 MJ fatto registrare per l'intero ciclo di vita dalle partite di Charolaise è risultato molto inferiore ai 52 MJ della fase italiana; ciò ha reso questo sistema di produzione più virtuoso di tutte le tre aziende analizzate. Per la categoria LO, invece, si ha avuto l'effetto contrario. L'aggiunta della prima fase ha peggiorato notevolmente il valore fatto registrare dalla fase italiana (da 7,7 a 18,9 m^2) e ha fatto sì che il nuovo valore risultasse di gran lunga peggiore rispetto a quello ottenuto dalle tre aziende, eccedendo di quasi il 60% il dato dell'azienda 1, la peggiore delle tre.
Prendendo come riferimento invece [27], si può fare un confronto tra il tipo genetico Frisona x Blu Belga di questo studio e le razze (ed incroci) tipiche dei centri d'ingrasso del nord-est descritti nell'introduzione. Partendo dai pesi di arrivo e di uscita si nota come tutti i tipi genetici arrivino nelle aziende con un BWI maggiore rispetto ai ristalli italiani; i più pesanti sono gli Charolaise (392 kg), seguiti dalle altre razze ed incroci francesi (387 kg) e dagli incroci irlandesi (369 kg). Queste tre categorie superano in media di oltre 100 kg il peso all'arrivo dei Frisona x Blu Belga analizzati in questo studio. I vitelloni Limousine e le manze di razza Limousine e Charolaise chiudono il gruppo, con pesi iniziali che si avvicinano di più a quelli dell'azienda 1 (300 kg per i ristalli Limousine, 289 per le manze e 280 per l'azienda 1). Il discorso è simile per i pesi finali: Charolaise, incroci francesi ed irlandesi hanno BWF molto maggiori di quelli riscontrati in questo studio (730 kg Charolaise contro i 530 kg dell'azienda 1), il peso finale dei vitelloni Limousine è di poco superiore mentre quello delle manze è addirittura inferiore a quello di tutte e tre le aziende trentine. Il ciclo d'ingrasso, qualsiasi sia il tipo genetico preso in caso, dura tra i 7 e gli 8 mesi, cifre comparabili con quelle dell'azienda 1 (7,5 mesi) ma ben distanti dai valori delle aziende 2 e 3. I valori di ADG sono sempre superiori per i tipi genetici dello studio di Berton (1,51 kg/giorno per Charolaise, 1,47 per incroci irlandesi, 1,39 per incroci ed altre razze francesi, 1,3 per Limousine), con la sola eccezione delle manze Charolaise e Limousine, per le quali è stato ottenuto un valore minore di quello dell'azienda 1 e identico a quella dell'azienda 2. L'ingestione di DMI (kg s.s./d) è stata maggiore rispetto alle aziende 2 e 3 per tutti i tipi genetici mentre, rispetto all'azienda 1 (9,28), manze (8,2) e vitelloni Limousine (8,7) hanno fatto registrare valori inferiori. I fattori di autosufficienza registrati sono stati simili a quelli dell'azienda 2 (46%) per Charolaise (45%), incroci irlandesi (43%) e Limousine (39%), intermedi tra l'azienda 2 e 3 per gli incroci francesi (52%) e molto vicini a quelli dell'azienda 3 (64%) per le manze di razza Charolaise e Limousine (66%).
Passando alle categorie d'impatto si può vedere come i valori di GWP ottenuti in Berton per ogni tipo genetico, facenti riferimento al solo periodo d'ingrasso effettuato in Italia, siano tutti minori rispetto ai valori delle tre aziende studiate. L'unica categoria che si avvicina al risultato dell'azienda 3 è quella delle manze (9,3 contro i 9,4 kg CO_2-eq/kg

BWG), mentre tutti gli altri tipi genetici, Charolaise ed incroci irlandesi in particolare, si distanziano notevolmente dalle aziende 2 e 3 e ancora di più dall'azienda 1 (7,9 kg CO_2-eq/kg BWG sia per Charolase che per incroci irlandesi contro i 13,5 kg dei Frisona x Blu Belga dell'azienda 1). Dal calcolo dell'AP emerge come invece tutti i tipi genetici della filiera Francia – Italia abbiano avuto emissioni notevolmente maggiori, con le manze in particolare che hanno fatto registrare un valore superiore del 44% a quello dell'azienda 1 e addirittura dell'87% a quello dell'azienda 3. Anche nella categoria EP le manze sono state il tipo genetico peggiore, con 82 g PO_4-eq/kg BWG. Charolaise, incroci irlandesi e francesi si sono invece allineati ai risultati dell'azienda 1, rimanendo però distanti dai valori migliori delle aziende 2 e 3. Per quel che concerne i valori della categoria CED, invece, tutti i tipi genetici hanno ottenuto risultati molto peggiori di quelli delle tre aziende qui studiate. Charolaise, incroci francesi ed irlandesi, tuttavia, hanno avuto prestazioni comunque nettamente migliori rispetto ai vitelloni Limousine e alle manze. Nel computo della LO, il trend è stato ribaltato: tutti i tipi genetici hanno ottenuto risultati migliori dei vitelloni beef x dairy delle tre aziende, ad eccezione ancora una volta delle manze, il cui valore di 11,1 m^2/kg BWG è risultato maggiore di quello di 10,6 m^2/kg BWG fatto registrare dall'azienda 3.
Come si evince dai lavori di Berton [26] [27], i ristalli tipicamente allevati in Veneto e in generale nel nord-est Italia, arrivano nei centri d'ingrasso con pesi decisamente maggiori, a causa del fatto che trascorrono circa 10-14 mesi al pascolo con le vacche nutrici [20], contro i 5,5-6 mesi dei vitelli analizzati in questo studio. La differenza più netta è stata però quella legata all'ADG; la selezione genetica unita alla somministrazione di diete più concentrate e mirate a soddisfare i requisiti nutrizionali e alla maggior ingestione di s.s. giornaliera dei vitelloni francesi (ed irlandesi) ha fatto sì che il divario tra i pesi finali degli animali coinvolti nei due studi fosse ancora maggiore di quello tra i pesi iniziali. Prendendo come riferimento l'azienda 1, la cui durata del ciclo d'ingrasso è stata simile a quella dello studio di Berton [27] e che ha avuto il migliore ADG tra le tre aziende, si può infatti notare come, ad esempio, Charolaise ed incroci irlandesi abbiano guadagnato circa 340 kg di peso durante il ciclo d'ingrasso, contro i 250 kg dell'azienda 1. L'ingrasso dei vitelloni beef x dairy può essere paragonato, sotto il punto di vista delle performance produttive, a quello delle manze di razza Charolaise e Limousine. I capi dell'azienda 1 erano tutti di sesso maschile e questo ha contribuito a far sì che le performance produttive fossero migliori di quelle delle aziende 2 e 3, a dimostrazione di come il sesso degli animali sia una caratteristica importante da tenere in considerazione nelle scelte gestionali. Dato che durante il ciclo di allevamento i vitelloni beef x dairy avevano un peso simile a quello delle manze, è legittimo pensare che il numero di animali per box possa essere identico a quello delle manze stesse e quindi più alto rispetto a quello dei vitelloni francesi; di conseguenza, l'incremento di peso vivo e il guadagno netto alla vendita per box possono essere simili o addirittura superiori rispetto a quello dei vitelloni francesi; in aggiunta,

l'ingestione giornaliera inferiore permette di ottenere un consumo totale di alimento per box molto simile tra i due generi [13].
Soffermandosi sui valori delle categorie d'impatto del ciclo d'ingrasso ottenuti in [26] e prendendo come riferimento l'azienda 1 (che più si avvicina alla concezione di ingrasso intensivo tipica degli allevamenti veneti), si può notare come non vi sia una linea di produzione decisamente migliore dell'altra: GWP, EP e LO sono migliori per i vitelloni francesi, AP e CED per quelli italiani. Anche se si considerano le aziende 2 e 3, comunque, il risultato non si sposta nettamente in favore dell'una o delle altre: il valore del GWP è migliore per l'azienda 3 ed uguale a quello di Berton per l'azienda 2, il valore dell'AP è migliore per le due aziende trentine mentre quello dell'EP per i vitelloni francesi; allo stesso modo i risultati del CED premiano le aziende trentine e quelli della LO le aziende venete. Questi risultati diversi indicano come la variabilità aziendale, sia in termini di gestione della mandria che della razione e della parte agronomica, abbia conseguenze fondamentali sui valori finali delle varie categorie d'impatto ed impedisca di trarre conclusioni definitive.
Se si considera l'intero ciclo d'ingrasso si può concludere come, per le tre categorie d'impatto legate alle emissioni (GWP, AP ed EP) e per la LO, la fase al pascolo in Francia, che dura mediamente qualche mese in più, abbia un impatto complessivo maggiore rispetto al periodo trascorso negli allevamenti da latte dai ristalli italiani. Rifornirsi da allevamenti italiani permette di accorciare il ciclo di vita dell'animale e dunque le sue emissioni complessive, oltre ad eliminare il lungo viaggio che porta i vitelloni dal Massiccio Centrale agli allevamenti delle zone della Pianura Padana, una delle fonti principali di stress per l'animale [15].
Analizzando i risultati delle categorie d'impatto per i vari tipi genetici francesi ed irlandesi si può vedere come, anche in questo caso, non vi sia un tipo genetico decisamente migliore dell'altro dato che, a seconda della categoria considerata, il risultato cambia in favore della filiera Francia – Italia o di quella trentina. L'unico tipo genetico che, mediamente, si è dimostrato peggiore degli altri è stato quello delle manze; ad eccezione della categoria GWP (e della LO rispetto all'azienda 3), infatti, i risultati delle manze sono stati sempre peggiori rispetto a quelli fatti registrare dalle tre aziende trentine. Nonostante le prestazioni produttive simili, dunque, sotto il punto di vista ambientale i vitelloni beef x dairy sono stati mediamente molto più competitivi.
Dal confronto con i due lavori di Berton emerge come i vitelloni provenienti dalle stalle da latte italiane abbiano prestazioni produttive inferiori della controparte francese, ma si collochino sullo stesso piano se non leggermente al di sopra delle manze. Se si considera il punto di vista ambientale, invece, il divario tra i vitelloni francesi e quelli nazionali varia a seconda della categoria d'impatto analizzata, mentre quello tra manze e vitelloni beef x dairy si amplia a vantaggio di questi ultimi.

Conclusioni

Da questo studio è emerso come i valori di impatto ambientale della filiera beef x dairy trentina rientrino in una scala di valori simile rispetto alla filiera del vitellone Francia - Italia.
La gestione aziendale, sia della parte zootecnica che di quella agronomica, costituisce una fonte importante di variabilità, influenzando pesantemente i risultati delle prestazioni produttive e ambientali, come è emerso dal confronto tra l'azienda 1 e le aziende 2 e 3. Per l'azienda 1, impostata in modo simile al tipico allevamento intensivo del vitellone della Pianura Padana, le prestazioni produttive sono state migliori rispetto alle altre due aziende; accorciando notevolmente le tempistiche del ciclo d'ingrasso, può esserci un ricambio della mandria più veloce e più animali possono essere venduti al macello nello stesso arco di tempo. Mantere la stessa produttività, aumentando però la quota di autoproduzione, avrebbe sicuramente conseguenze positive sia sul bilancio economico (diminuirebbero i costi di produzione) che sul bilancio ambientale delle aziende, dato che la dieta è stato il fattore che nel complesso ha più influenzato tutte le categorie d'impatto analizzate e una maggiore quota di autoproduzione ha contribuito a diminuire le emissioni di agenti inquinanti e l'utilizzo di risorse. Le aziende 2 e 3 adoperavano più fieno nella razione, acquistavano i ristalli a pesi inferiori e li rivendevano a pesi superiori, con una durata del ciclo d'ingrasso quasi doppia rispetto all'azienda 1, autoproducevano buona parte degli alimenti necessari per l'alimentazione dei capi; tutto questo ha permesso loro di ottenere risultati migliori dal punto di vista dell'impatto ambientale e di ridurre notevolmente i costi di esercizio, pur a discapito di una produzione minore di prodotto nello stesso lasso di tempo. Anche l'utilizzo di sottoprodotti e scarti alimentari può aiutare ad abbassare le emissioni e l'utilizzo di risorse, favorendo la cosiddetta "economia circolare", ma devono essere valutati attentamente i valori nutrizionali di codesti sottoprodotti/scarti affinché la loro introduzione nella razione non richieda un impiego eccessivo di altri alimenti che vadano a coprirne eventuali carenze nutrizionali.
La gestione degli effluenti è stata la seconda componente più impattante dell'LCA e dunque il miglioramento della loro gestione contribuirà ad abbassare ulteriormente le emissioni di sostanze nocive per l'ambiente; diminuire la dispersione di azoto in atmosfera consente di ottenere un effluente con un tenore di azoto più alto e dunque con migliori proprietà

concimanti o ammendanti.
Questo studio ha preso in esame un numero limitato di aziende, data la presenza relativamente bassa nelle zone della Pianura Padana e limitrofe di realtà zootecniche con a carico animali beef x dairy italiani, e dunque ulteriori studi che indaghino più a fondo questa filiera analizzando un numero maggiore di aziende e di capi, permettendo un'analisi statistica valida, sono auspicabili.
Il numero di vitelloni beef x dairy è ancora esiguo se paragonato a quelli di provenienza francese; aumentare la presenza di questi animali nelle stalle italiane garantirebbe una maggiore forza sul mercato, permetterebbe di creare una filiera forte in grado di sopperire alle carenze numeriche francesi degli ultimi tempi e getterebbe le basi, inoltre, per lo svolgimento di una valutazione accurata sulla sostenibilità economica di tale filiera.
L'introduzione di una certificazione e di un disciplinare di produzione che valorizzino questa filiera ed i suoi prodotti potrebbe contribuire a far avere un maggiore ritorno economico sia ai distributori che agli allevatori stessi, aiutando inoltre a far affermare nel mercato un prodotto nato, allevato e macellato interamente in Italia.
Le strutture utilizzate abitualmente per l'ingrasso dei vitelloni francesi potrebbero ospitare i vitelloni beef x dairy senza la necessità di apportare modifiche sostanziali, evitando così di sobbarcare gli allevatori di ulteriori spese. Sarebbe inoltre interessante valutare le conseguenze ambientali ed economiche nel caso in cui i vitelli appena nati venissero spostati nei centri di svezzamento, dove gli animali sono preparati alla successiva fase d'ingrasso in modo ottimale, senza che questo onere debba ricadere sugli allevatori delle aziende da latte.
Sarebbe infine importante, per i ristalli provenienti invece da zone montuose e tenuti al pascolo con la madre per un periodo di tempo più lungo (come nel caso degli allevamenti trentini tradizionali), trovare un modo per valorizzare i servizi ecosistemici da essi forniti, dato che al giorno d'oggi nel computo del LCA non sono inseriti vista la difficoltà ad attribuirne un valore economico.

Bibliografia

[1] Verena Angerer, Emilio Sabia, Uta König Von Borstel e Matthias Gauly. «Environmental and biodiversity effects of different beef production systems». *Journal of Environmental Management*, lug. 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112523.

[2] Angelo Frascarelli, Stefano Ciliberti, Sofia Maria Lilli, Paolo Pascolini, Jacopo Gabriele Orlando e Margherita Tiradritti. «Comparative Techno-Economic and Carbon Footprint Analysis of Semi-Extensive and Intensive Beef Farming». *Agriculture*, feb. 2025. DOI: 10.3390/agriculture15050472.

[3] Emanuele Marocco. «Meat market review».

[4] *Contribution of terrestrial animal source food to healthy diets for improved nutrition and health outcomes*. en. FAO, apr. 2023. ISBN: 978-92-5-137536-5. DOI: 10.4060/cc3912en.

[5] Katalin Szendrő, Antonella Dalle Zotte, Nikoletta Fülöp, Judit Garamvölgyi e Katalin Tóth. «Consumer views on the healthiness of meat from various animal species: A comprehensive survey including fish». *Applied Food Research*, dic. 2024. DOI: 10.1016/j.afres.2024.100533.

[6] Marco Berton, Giacomo Cesaro, Luigi Gallo, Maurizio Ramanzin e Enrico Sturaro. «Sources of variation of the environmental impact of cereal-based intensive beef finishing herds». *Italian Journal of Animal Science*, lug. 2018. DOI: 10.1080/1828051x.2018.1423581.

[7] Andrea Bragaglio, Fabio Napolitano, Corrado Pacelli, Giacomo Pirlo, Emilio Sabia, Francesco Serrapica, Maria Serrapica e Ada Braghieri. «Environmental impacts of Italian beef production: A comparison between different systems». *Journal of Cleaner Production*, gen. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.078.

[8] N. Dal Ferro, G. Fabbri, F. Gottardo, M. Mencaroni, B. Lazzaro e F. Morari. «Identifying NH3 emission mitigation techniques from farm to field using a Bayesian network». *Journal of Environmental Management*, gen. 2025. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.123636.

[9] N.T. Masebo, G. Marliani, D. Cavallini, P.A. Accorsi, M. Di Pietro, A. Beltrame, A. Gentile e J.G.P. Jacinto. «Health and welfare assessment of beef cattle during the adaptation period in a specialized commercial fattening unit». *Research in Veterinary Science*, mag. 2023. DOI: 10.1016/j.rvsc.2023.03.008.

[10] Francesco Mariottini, Lorella Giuliotti, Marta Gracci, Maria Novella Benvenuti, Federica Salari, Luca Arzilli, Mina Martini, Cristina Roncoroni e Giovanni Brajon. «The

ClassyFarm System in Tuscan Beef Cattle Farms and the Association between Animal Welfare Level and Productive Performance». *Animals*, lug. 2022. DOI: 10.3390/ani12151924.

[11] Guilherme Defalque, Ricardo Santos, Marcio Pache e Cristiane Defalque. «A review on beef cattle supplementation technologies». *Information Processing in Agriculture*, dic. 2024. DOI: 10.1016/j.inpa.2023.10.003.

[12] Luisa Magrin, Flaviana Gottardo, Barbara Contiero, Marta Brscic e Giulio Cozzi. «Time of occurrence and prevalence of severe lameness in fattening Charolais bulls: Impact of type of floor and space allowance within type of floor». *Livestock Science*, mar. 2019. DOI: 10.1016/j.livsci.2019.01.021.

[13] Luigi Gallo, Massimo De Marchi e Giovanni Bittante. «A Survey on Feedlot Performance of Purebred and Crossbred European Young Bulls and Heifers Managed Under Intensive Conditions in Veneto, Northeast Italy». *Italian Journal of Animal Science*, gen. 2014. DOI: 10.4081/ijas.2014.3285.

[14] D. O'Brien, J. Herron, J. Andurand, S. Caré, P. Martinez, L. Migliorati, M. Moro, G. Pirlo e J-B Dollé. «LIFE BEEF CARBON: a common framework for quantifying grass and corn based beef farms' carbon footprints». *Animal*, 2020. DOI: 10.1017/s1751731119002519.

[15] M. Brščić, M.K. Kirchner, U. Knierim, B. Contiero, F. Gottardo, C. Winckler e G. Cozzi. «Risk factors associated with beef cattle losses on intensive fattening farms in Austria, Germany and Italy». *The Veterinary Journal*, set. 2018. DOI: 10.1016/j.tvjl.2018.08.002.

[16] Dennis Bonnin, Ernesto Tabacco e Giorgio Borreani. «Variability of greenhouse gas emissions and economic performances on 10 Piedmontese beef farms in North Italy». *Agricultural Systems*, dic. 2021. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103282.

[17] Filippo Alquati, Martina Quagliardi, Alessandra Gavazza, Alessandra Roncarati, Livio Galosi e Corrado M. Corradini. «A Survey on Biosecurity and Animal Welfare in Twenty-Five Beef Cattle Farms in the Marche Region, Central Italy: Application of the ClassyFarm Checklists». *Animals*, gen. 2025. DOI: 10.3390/ani15030312.

[18] Alessia Diana, Matteo Santinello, Massimo De Marchi, Erika Pellattiero e Mauro Penasa. «The Role of Quarantine on Post-Mortem Performances of Charolaise Young Bulls». *Animals*, feb. 2022. DOI: 10.3390/ani12040425.

[19] Luisa Magrin, Marta Brscic, Leonardo Armato, Barbara Contiero, Alessandro Lotto, Giulio Cozzi e Flaviana Gottardo. «Risk factors for claw disorders in intensively finished Charolais beef cattle». *Preventive Veterinary Medicine*, feb. 2020. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2019.104864.

[20] Lucile Herve, Nathalie Bareille, Baptiste Cornette, Pauline Loiseau e Sébastien Assié. «To what extent does the composition of batches formed at the sorting facility influence the subsequent growth performance of young beef bulls? A French observational study». *Preventive Veterinary Medicine*, mar. 2020. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.104936.

[21] Matteo Santinello, Massimo De Marchi, Alessia Diana, Nicola Rampado, Jean-François Hocquette e Mauro Penasa. «Effect of commingling animals at sorting facilities on performances and antibiotic use in beef cattle». *Italian Journal of Animal Science*, dic. 2022. DOI: 10.1080/1828051x.2022.2063766.

[22] M. Santinello, I. Lora, C. Villot, G. Cozzi, M. Penasa, E. Chevaux, B. Martin, A. Guerra, M. Simoni e M. De Marchi. «Impact of live yeast and selenium supplementation on blood metabolites and rumen pH of young bulls after long-transport to the fattening unit». *animal*, dic. 2024. DOI: 10.1016/j.animal.2024.101375.

[23] Giulio Cozzi, Marta Brscic e Flaviana Gottardo. «Main critical factors affecting the welfare of beef cattle and veal calves raised under intensive rearing systems in Italy: a review». *Italian Journal of Animal Science*, gen. 2009. DOI: 10.4081/ijas.2009.s1.67.

[24] G. Cozzi. «Present situation and future challenges of beef cattle production in Italy and the role of the research». *Italian Journal of Animal Science*, gen. 2007. DOI: 10.4081/ijas.2007.1s.389.

[25] D.P. Berry. «Invited review: Beef-on-dairy—The generation of crossbred beef × dairy cattle». *Journal of Dairy Science*, apr. 2021. DOI: 10.3168/jds.2020-19519.

[26] Marco Berton, Jacques Agabriel, Luigi Gallo, Michel Lherm, Maurizio Ramanzin e Enrico Sturaro. «Environmental footprint of the integrated France–Italy beef production system assessed through a multi-indicator approach». *Agricultural Systems*, lug. 2017. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.04.005.

[27] Marco Berton, Giacomo Cesaro, Luigi Gallo, Giacomo Pirlo, Maurizio Ramanzin, Franco Tagliapietra e Enrico Sturaro. «Environmental impact of a cereal-based intensive beef fattening system according to a partial Life Cycle Assessment approach». *Livestock Science*, ago. 2016. DOI: 10.1016/j.livsci.2016.06.007.

[28] Ilario Bazzoli. «PRODUCTION AND ECONOMIC TRAITS OF PUREBREED AND CROSSBRED ANIMALS IN DAIRY HERDS OF MOUNTAIN AREAS».

[29] International Organization for Standardization. *ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Standard. Available at: https://www.iso.org/standard/37456.html. Geneva, Switzerland, 2006.

[30] Serenella Sala, Andrea Martino Amadei, Antoine Beylot e Fulvio Ardente. «The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades». *The International Journal of Life Cycle Assessment*, dic. 2021. DOI: 10.1007/s11367-021-01893-2.

[31] Marco Berton, Salvatore Raniolo, Enrico Sturaro e Maurizio Ramanzin. «Life cycle assessment in cattle farming systems: a review of approaches, goals and scopes». *Italian Journal of Animal Science*, dic. 2025. DOI: 10.1080/1828051X.2025.2498045.

[32] M. De Vries, C.E. Van Middelaar e I.J.M. De Boer. «Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments». *Livestock Science*, ago. 2015. DOI: 10.1016/j.livsci.2015.06.020.

[33] Jeroen B. Guinée, Stefano Cucurachi, Patrik J.G. Henriksson e Reinout Heijungs. «Digesting the alphabet soup of LCA». *The International Journal of Life Cycle Assessment*, lug. 2018. DOI: 10.1007/s11367-018-1478-0.

[34] International Organization for Standardization. *ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. Standard. Available at: https://www.iso.org/standard/38498.html. Geneva, Switzerland, 2006.

[35] F. Martillotti, S. Bartocci e S. Terramoccia. *Guida all'alimentazione dei ruminanti da latte: tavole dei valori nutritivi degli alimenti di interesse zootecnico*. Collana di zootecnia. INEA, 1996. ISBN: 978-88-8145-010-7.

[36] Daniel Sauvant, J.M. Perez e Gilles Tran. *Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials: Pig, Poultry, Sheep, Goats, Rabbits, Horses, Fish*. Mag. 2004. ISBN: 978-90-8686-668-7. DOI: 10.3920/978-90-8686-668-7.

[37] *INRA feeding system for ruminants*. Brill, 2023. ISBN: 978-90-8686-872-8.

[38] J. J. M. H. Ketelaars e H. G. Van der Meer. *Establishment of criteria for the assessment of the nitrogen content of animal manures*. Report 14. Final report to ERM. Wageningen, The Netherlands: Plant Research International, 1999.

[39] Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. en. 1ª ed. Cambridge University Press, lug. 2023. ISBN: 978-1-009-15789-6. DOI: 10.1017/9781009157896.

[40] Marco Berton, Enrico Sturaro, Stefano Schiavon, Alessio Cecchinato e Luigi Gallo. «Management factors affecting the environmental impact of cereal-based dairy farms». *Italian Journal of Animal Science*, dic. 2023. DOI: 10.1080/1828051X.2023.2213254.

[41] ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. *Rapporto Rifiuti Speciali - Edizione 2022*. Rapp. tecn. Rapporto 357/2022. Ultimo accesso: 2 settembre 2025. ISPRA, 2022.

[42] Vera Sokolov, Andrew VanderZaag, Jermaneh Habtewold, Kari Dunfield, Claudia Wagner-Riddle, Jason J. Venkiteswaran e Robert Gordon. «Greenhouse Gas Mitigation through Dairy Manure Acidification». *Journal of Environmental Quality*, set. 2019. DOI: 10.2134/jeq2018.10.0355.

[43] Minghao Zhuang, Nan Shan, Yingchun Wang, Dario Caro, Rachael Marie Fleming e Ligang Wang. «Different characteristics of greenhouse gases and ammonia emissions from conventional stored dairy cattle and swine manure in China». *Science of The Total Environment*, giu. 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137693.